



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학 박사학위 논문

방위산업 혁신시스템 특성규명에 관한 연구

-시스템다이내믹스를 이용한 방위산업 동태성 분석-

Study on the characterization of the Defense industry Innovation System
: Analysis of the Defense industry Dynamics using System Dynamics

2013 년 2 월

서울대학교 대학원

협동과정 기술경영경제정책전공

최 정 환

방위산업 혁신시스템 특성규명에 관한 연구

:시스템다이내믹스를 이용한 방위산업 동태성 분석

Study on the characterization of the Defense industry Innovation System

: Analysis of the Defense industry Dynamics using System Dynamics

지도교수 이정동

이 논문을 공학박사학위 논문으로 제출함

2013 년 2 월

서울대학교 대학원
협동과정 기술경영경제정책전공
최 정 환

최정환의 공학박사학위 논문을 인준함

2013 년 2 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

초 록

기술혁신은 기업 및 산업의 생존을 이끄는 가장 중요한 요인일 뿐 아니라 국가 경제성장에 있어서도 중요한 역할을 담당하고 있으며, 기술혁신의 중요성은 방위산업 역시 예외일 수 없다.

기술혁신의 특성이 산업마다 다르다는 산업혁신시스템(sectoral innovation system) 이론에 따라 각 산업의 혁신특성을 식별하고자 하는 연구들이 수행되어 왔으나, 방위산업은 분류체계상의 모호함과 산업 내에 다양한 하위 분야가 존재하는 등의 이유로 혁신시스템 특성 파악이 제한적으로만 수행되어 왔다.

방위산업은 안보 및 경제 측면에서 모두 중요한 역할을 담당하고 있는 산업으로, 특히 고부가가치를 창출할 수 있을 뿐 아니라 한번 수출이 성사되면 장기간에 걸쳐 경제적 성과 달성이 가능하며, 또한 첨단산업으로서 기술발전을 견인할 수 있다는 특성을 가지고 있다. 이러한 중요성으로 인해 정부는 방위산업을 미래 국가 경제발전을 위한 신경제성장동력 중 하나로 지정하였으며 방위산업의 발전을 위한 다양한 정책들을 시행 중에 있다. 그러나 이러한 정책들의 시행에 있어 근원적 문제는 정작 방위산업이 어떠한 혁신시스템의 특성을 가지고 동작하고 있는지에 대한 파악이 미흡하다는 점이다. 따라서 방위산업을 위한 정책들의 효과적이면서도 효율적인 목표달성을 위해서는 방위산업 혁신시스템의 특성에 대한 파악이 선결되어야 한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 시스템다이나믹스를 이용하여 방위산업과 이와 관련된 혁신 구성요소들간의 관계를 피드백 구조속에서 분석하고 시뮬레이션 하였다. 특히, 방위산업 내의 세부 분야를 산업적 특성에 따라 분류하고 각각의 특성에 따라 산업혁신시스템 관점에서 동태적 특성을 분석하였다. 본 연구의 결과를 통해 방위산업 내 각기 다른 산업분야의 동태적 특성을 파악할 수 있었으며 더불어 각 세부 분야의 혁신에 있어 중요한 혁신요소는 무엇인가를 파악할 수 있었다. 또한 통합적 관점에서 방위산업 혁신시스템의 동태적 특성규명을 통해 현재 방위산업 정책을 방향을 파악하였으며, 이를 통해 방위산업의 각 산업별 특성에 따른 정책방향을 제시하였다.

주요어 : 시스템다이나믹스, 방위산업, 산업혁신시스템, 혁신시스템, 산업혁신패턴

학 번 : 2009-30752

목 차

초 목	i
목 차	iii
표 목차	vi
그림 목차	viii
1. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구범위 및 방법	7
1.3 연구의 의의	9
2. 기존연구 고찰	11
2.1 방위산업의 특성	11
2.2 혁신시스템-일반	18
2.3 산업혁신시스템	22
3. 방위산업혁신시스템의 특징과 연구가설	33
3.1 방위산업의 산업적 특징	33
3.2 방위산업 혁신시스템의 분석	59
3.3 방위산업 내 세부혁신시스템 분석	66
3.4 연구가설	79
4. 방위산업 혁신시스템의 시스템다이내믹스 모형 구축	81
4.1 시스템다이내믹스 모형의 개요와 특징	81

4.1.1	구조	81
4.1.2	사례	85
4.2	방위산업 혁신시스템의 하부 인과지도	88
4.2.1	성장과 혁신.....	90
4.2.2	R&D 투자와 혁신	94
4.2.3	기술체제와 혁신.....	97
4.2.4	제도와 혁신.....	98
4.3	방위산업 혁신시스템의 통합인과지도	100
5.	방위산업 혁신시스템 시뮬레이션 분석	102
5.1	시뮬레이션 모형의 구조.....	102
5.2	모형 타당성 검증.....	113
5.3	시뮬레이션 시나리오	115
5.3.1	통합모형.....	115
5.3.2	세부혁신시스템	119
5.4	시뮬레이션 결과	121
5.4.1	통합모형.....	121
5.4.2	세부혁신시스템 1: 규모집약형.....	124
5.4.3	세부혁신시스템 2: 과학기반형.....	127
5.5	결과해석	130
6.	결론.....	139
6.1	연구결과 요약.....	139

6.2 정책적 시사점.....	142
6.3 연구의 의의 및 한계	146
참 고 문 헌	148
부록 1 : 모델 관계식.....	165
부록 2 : 모델검증 결과	171
Abstract.....	176

표 목차

[표 1] 방위산업의 정책 목적 및 목표	13
[표 2] 방위산업에 관한 연구	17
[표 3] 주요산업별 기술혁신의 특징	25
[표 4] 혁신패턴에 따른 분류 및 특징	27
[표 5] 산업별 기술혁신패턴의 차이	28
[표 6] 산업별 혁신패턴 및 구성요소들에 관한 선행연구	31
[표 7] 시스템다이내믹스를 이용한 혁신시스템 연구	32
[표 8] 국방과학기술의 민간과학기술 활용사례	35
[표 9] 쌍방 독과점과 관련된 방위산업의 구조적 문제점	37
[표 10] 시장관점에서 본 방위산업과 일반산업과의 차이	38
[표 11] 산업관점에서 본 일반산업과 방위산업과의 차이	39
[표 12] 국가별 무기수출현황	44
[표 13] 역대 군사력 건설사업과 방위산업 정책기조	47
[표 14] 방위력개선사업 투자비 및 목표(1974-2005)	49
[표 15] 방위력 개선비와 해외지출 : 2003~2010	49
[표 16] 한국과 일본의 방위력 개선비 중 해외지출 비율 비교	50
[표 17] 방위산업 전문화 계열화 현황	56
[표 18] 체계개발 주도형태 현황	57
[표 19] 방위산업 혁신시스템의 구성요소 및 특성	65
[표 20] Pavitt 과 Tidd & Pavitt의 분류	69
[표 21] OECD 산업분류	70
[표 22] 기술체제의 특성에 따른 분류	71
[표 23] 방산 물자 및 산업유형에 의한 분류	71
[표 24] 방위산업의 각 분야별 분류체계 및 분류기준	77
[표 25] 시스템다이내믹스와 통계적 방법론간 비교	84
[표 26] 분석에 있어 계량경제학과 시스템다이내믹스 간 차이점	85
[표 27] 방위산업 혁신시스템 인과지도의 주요변수	89

[표 28] 방위산업 성장과 혁신 인과지도의 순환과정.....	93
[표 29] 방산 R&D 투자와 혁신 인과지도의 순환과정	97
[표 30] MAPE 검증결과	115
[표 31] 주요 변수의 보조변수 값	119
[표 32] 기술혁신 및 산업별 특성 변수.....	120
[표 33] 분야별 주요 보조변수 값	121
[표 34] 혁신원천 변화에 따른 혁신변화 비교.....	131
[표 35] 제도 변화에 따른 혁신변화 비교.....	133
[표 36] 정책 변화에 따른 혁신변화 비교.....	135
[표 37] 대외정세 변화에 따른 혁신변화 비교.....	136

그림 목차

[그림 1] 세계방산매출 추이	42
[그림 2] 세계국방예산 추이(2001-2010)	43
[그림 3] 1981-2011 방위력 개선비(전력투자비) 예산 추세	48
[그림 4] 방위력개선비와 해외지출	50
[그림 5] 방위산업체 및 방산물자 현황	51
[그림 6] 방위산업체 매출액 및 매출액 증가율(2000-2009)	52
[그림 7] 방위산업체 및 제조업 평균 영업이익률 비교	53
[그림 8] 방위산업체와 제조업 평균 가동율 비교	54
[그림 9] 연도별 방산물자 수출액	55
[그림 10] 분야별 국방과학 수준	58
[그림 11] 방위산업의 산업적 위치	67
[그림 12] 시스템다이내믹스의 방법론적 위상	82
[그림 13] 댐수위에 대한 인과지도	86
[그림 14] 양의 피드백루프와 음의 피드백 루프	87
[그림 15] 채래식무기 수요 인과지도 및 동태성	90
[그림 16] 채래식무기 수요 인과지도 및 동태성	91
[그림 17] 방위산업의 성장과 한계 인과지도 및 동태성	92
[그림 18] R&D 투자와 혁신에 관한 인과지도	95
[그림 19] 지식체제와 혁신에 관한 인과지도	98
[그림 20] 제도와 혁신에 관한 인과지도	99
[그림 21] 방위산업혁신시스템의 통합인과지도	101
[그림 22] 방위산업 혁신시스템 저량-유량 흐름의 개념도	103
[그림 23] 국방예산의 저량-유량 흐름도	104
[그림 24] 국내구매예산의 저량-유량 흐름도	105
[그림 25] 해외구매예산 및 국내첨단무기 구매예산 저량-유량 흐름도	106
[그림 26] 국방 R&D 예산 및 R&D 스톡 저량-유량 흐름도	107
[그림 27] 채래식물자 수요의 저량-유량 흐름도	109

[그림 28]	첨단물자 수요의 저량-유량 흐름도.....	110
[그림 29]	방위산업 매출 및 R&D의 저량-유량 흐름도.....	110
[그림 30]	방위산업 기술수준의 저량-유량 흐름도.....	111
[그림 31]	방위산업 혁신부문 저량-유량 흐름도	113
[그림 32]	통합적 관점에서 방위산업 혁신시스템의 동태성	122
[그림 33]	통합적 관점에서 제품 및 공정혁신의 누적수준 통태성	124
[그림 34]	규모집약형 방위산업의 제품 및 공정혁신.....	126
[그림 35]	규모집약형 산업의 제품 및 공정혁신 누적성	127
[그림 36]	과학기반형 방위산업의 제품 및 공정혁신.....	128
[그림 37]	과학기반형 산업의 제품 및 공정혁신 누적성	129
[그림 38]	분야별 특성에 따른 방위산업 발전전략.....	146

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

기술혁신(innovation)은 기업 및 산업의 생존을 이끄는 가장 중요한 원동력일 뿐 아니라 국가 경제성장에 있어서도 중요한 역할을 담당하고 있다. 기술혁신은 복잡한 사회적 제도 속에서 여러 주체들 간의 상호 연계를 바탕으로 이루어지게 되면서 기술혁신시스템(innovation system)이라는 새로운 이름으로 자리잡게 되었으며(이정동, 2011), 특히 산업혁신시스템(sectoral innovation system, SIS)에서는 산업마다 기술혁신의 원천 및 혁신주체, 제도 등이 상이하게 나타나게 된다(Malerba, 2004). 이렇듯 산업마다 각기 다른 기술혁신의 원천 및 구성요소들의 관계는 결국 기술혁신패턴의 차이를 가져오게 하며 이러한 차이는 산업과 기업의 기술혁신전략 및 기술혁신정책 수립에 매우 중요한 판단기준이 된다. 따라서 산업에 내재된 기술혁신 패턴을 파악하는 것은 해당산업의 발전을 위한 정책수립의 가장 첫 단계라 할 수 있다. 또한 산업별 기술혁신 패턴 파악이 중요한 이유는 특정산업에서 효과가 있었던 정책이라도 다른 산업분야에서는 효과성을 갖기 어려운 경우가 많기 때문이다(송위진, 2000).

혁신시스템에서는 국가간 또는 산업간 각각 서로 다른 혁신의 흐름과 형태상에 차이가 존재하고 있음을 인정한다. 그러나 대체로 혁신시스템의 구성요소에 있어서는 혁신주체, 네트워크, 제도 그리고 환경을 기본요소로 하고 있다는 공통점을 가지고 있다. 혁신시스템을 국가단위에서는 국가혁신시스템

(national innovation system, NIS) 차원에서 논의하고, 산업에서는 앞서 언급한 구성요소에 산업별 기술체제(technological regime)의 특성을 포함하여 산업혁신시스템으로 다루고 있다. 이 중 산업혁신시스템은 산업마다 혁신 구성요소의 수준 또는 지식기반 그리고 역할의 차이가 있으며, 이러한 차이는 혁신활동의 형태를 결정짓게 하는데 결정적인 요인이 된다. 결국 혁신 구성요소들은 혁신결정요인들(innovation determinants)로서의 역할을 하게 되며, 이러한 혁신결정요인들이 산업마다 모두 동일하게 영향을 미치는 것은 아니다. 따라서 혁신 결정요인은 산업의 특성을 규정짓게 하는 중요한 요인이 된다(Love & Roper, 2001; 곽수환 · 최석봉, 2009).

산업마다 기술혁신의 특성이 다르게 나타난다는 산업혁신시스템 이론의 등장 이후 많은 연구들이 산업별 혁신시스템의 특성을 규명하는 연구를 통해 산업혁신시스템의 구성요소가 산업마다 어떠한 형태로 구성되고 또한 상호 어떠한 구조를 가지고 연계하고 있는지를 규명하고자 하였으며, 이를 통해 산업별 맞춤형 발전전략 수립의 기준을 제시하였다. 그러나 기술혁신패턴의 특성을 통해 나타나는 산업 고유의 혁신시스템 특성을 규명하고자 하는 수많은 연구들이 있어 왔음에도 불구하고 방위산업의 혁신시스템에 대한 특성 및 기술혁신패턴을 규명하고자 하는 연구는 거의 수행되지 않았다. 따라서 방위산업이 기존의 다른 산업들과 동일한 또는 유사한 혁신시스템을 지닌 산업인지 아니면 전혀 새로운 형태의 산업인지에 대한 정의조차 어려운 실정이라고 할 수 있다. 이렇듯 방위산업의 혁신시스템에 대한 특성을 규명하지 못한 채 제시되는 방위산업 발전전략 및 정책들은 필연적으로 방위산

업 내 존재하는 각기 다른 특성의 세부 분야들간의 발전에 있어 불균형을 가져오게 되었으며, 또한 분석적 측면에서도 방위산업의 ‘산업’적 특성보다는 ‘안보’적 특성에 보다 중심을 두고 제시되어 왔다고 할 수 있다.

물론 방위산업을 기술혁신 분석의 틀 안에서 연구하기 어려운 이유도 존재한다. 우선 방위산업이 한국표준산업분류(Korean Stand Industrial Classification: KSIC) 상 별도의 산업으로 분류되어 있지 않은 점과 방위산업이라는 테두리 안에 매우 다양한 산업분야가 존재한다는 점이다. 그러나 그 동안 많은 연구들에서 이미 방위산업을 하나의 연구대상으로서 인식하고 분석하여 왔으며, 연구를 통해 몇몇의 특성들은 방위산업만이 가지는 정형화된 사실(stylized facts)로 인식되어 왔다는 점에서 분명 방위산업만이 가지는 혁신 특성이 존재할 가능성은 충분히 있다. 또한 방위산업의 실무적 업무 추진에 있어서도 방위산업을 분야에 따라 구분하여 추진하고 있는 바, 방위산업 내에 존재하는 각 분야마다 각기 다른 혁신시스템의 특성 및 혁신패턴이 존재할 가능성은 매우 높다고 할 수 있다.

방위산업은 국방력을 구성하는 요소 중 하나로서 실질적인 물리력과 관련된 군사력과 더불어 전쟁 억지 및 수행을 위한 단순한 능력뿐 아니라 경제, 사회, 문화 역량을 호위하는 포괄적 국력으로서의 의미를 갖는다(문종열, 2008).

방위산업은 안보적 측면에서의 역할과 경제적 측면에서의 역할을 모두 보유하고 있는 특성을 가지고 있기 때문에 대부분의 국가들은 기본적으로 방위산업을 보호·육성해야 하는 국가적 산업으로 규정하고 있으며 혁신을 위

한 다양한 정책들이 시행되어 왔다.

특히, 첨단기술이 집합된 산업으로서 방위산업에서 기술혁신이 갖는 역할 및 의미 역시 타 산업 못지 않게 매우 중요하며, 이러한 중요성은 점점 더 가속화 되어가는 기술변화와 경쟁속에서 더욱 강조되고 있다고 할 수 있다.

우리나라 방위산업은 외국의 무기체계를 수입하여 운용하는 방산수입국에서 시작하여 이제는 연구개발을 통해 생산한 각종 장비들을 수출하는 방산수출국으로 변모하였다(조재봉, 2008). 방위산업의 발전 과정에 있어 초기에는 집중적인 R&D 투자와 산업유인정책 등의 결과로 자연스럽게 제품혁신과 공정혁신이 활발하게 나타나게 되었으며, 이러한 혁신활동의 결과로 인해 일부 방위산업분야에 있어서는 생산되는 제품의 대부분을 국산화 할 수 있었다. 그러나 이후 국내·외 정세 변화 및 지속적인 혁신활동의 부재는 결국 기술 경쟁력 부재라는 결과를 가져오게 되었고, 기술 경쟁력 부재의 여파는 지금까지도 이어지고 있는 실정이다. 방위산업의 기술 경쟁력 부재는 그간 방위산업이 이룬 성과에도 불구하고 여전히 우리 방위산업 기술 수준이 재래식 무기 및 단순조립, 그리고 일부 분야에서의 체계개발만 가능한 수준에 머무를 수 밖에 없는 원인이 되고 있다. 이에 정부는 최근 방위산업의 경제 및 산업적 가치를 재조명함과 동시에 혁신을 통한 경쟁력 제고와 미래 신경제성장 동력으로 발전시키기 위한 다양한 노력을 투입하였거나 계획하고 있으나 아직까지 성과에 대해서는 평가 또는 예측하기 쉽지 않다. 따라서 방위산업의 경쟁력 확보 및 성장이라는 목표달성을 위해서는 방위산업 혁신시스템의 특성을 규명하는 일이 선행되어야 하는 것이다.

방위산업 혁신시스템의 특성을 규명하는 것이 중요한 이유를 안보, 산업, 연구 측면에서 보면 다음과 같다.

먼저 안보측면에서 방위산업에 대한 혁신시스템 특성을 규명하는 것이 중요한 이유는 무엇보다도 방위산업 자체가 국가의 안보를 담보하는 중요한 요소로서 역할을 하기 때문이다. 앞서도 언급했듯이 방위산업은 국가가 필요한 군수품을 직접 생산하고 조달하는 역할을 담당하는 산업이다. 즉, 외부의 도움이나 원조 없이도 자국 스스로의 힘으로 자국의 안보를 지켜낼 수 있는지 여부를 판단할 수 있는 척도가 된다. 특히, 전쟁 양상이 첨단무기로 무장된 각 전투요소간의 네트워크를 중심으로 한 네트워크 중심전 (network centric warfare)으로 그 패러다임 이동하고 있다는 점과 국방개혁이라는 커다란 변화를 준비하고 있는 시점에서 방위산업 혁신시스템의 특성 규명은 매우 중요한 이슈가 아닐 수 없다.

산업적 측면에서 방위산업 혁신시스템 특성에 대한 규명이 의미 있는 이유는 바로 방위산업이 국가 경제성장 동력으로서의 역할을 할 수 있는 산업이라는 점이다. 방위산업의 가장 큰 소산물인 무기체계 수출은 경제적 이익도 클 뿐 아니라 한번 수출이 성사되면 부품 및 기반설비 등의 부수적인 경제적 이익이 장기간 창출 된다는 특성을 가지고 있다. 이러한 중요성으로 인해 방위산업을 성장시키고자 하는 노력들이 2000년대 후반부터 강하게 추진되었으며 그로 인해 최근 괄목할 만한 수출성과를 거두었다. 그러나 이러한 성과에도 불구하고 우리나라의 방위산업 경쟁력은 여전히 취약한 수준이다. 특히 그 동안 방위산업의 발전을 위한 각종 정책 및 재정적 투입의 노력

에 비해 우리나라 방위산업의 위상 및 발전 정도는 그리 높지 않은 수준이다. 우리나라 방위산업의 기술수준은 2010년 기준 선진국대비 69% 수준을 유지 중이며 지난 10년간 연평균 4조이상의 재정이 방위산업에 지출되고 있음에도 불구하고 2001년 78개였던 방위산업체는 2010년 91개로 소폭의 증가만 있어 왔으며, 방위산업물자로 지정된 물품 역시 2001년 1,136개에서 2010년 1,543개로 약 39%, 연평균 4% 정도의 성장 수준에 그쳤다. 따라서 방위산업 혁신시스템에 대한 규명은 방위산업발전을 위한 열쇠를 찾는 중요한 작업이라고 할 수 있다.

마지막으로 연구측면에서 방위산업 혁신시스템 규명이 중요한 이유는 그동안 많은 연구들이 혁신시스템 관점에서 각 산업의 특성을 규명하려 하였으나, 방위산업을 다룬 연구는 제한적으로만 수행되었다는 점이다. 그리고 방법론적인 측면에서도 대부분의 연구들이 정성적인 분석이나 통계적 기법을 이용하여 특정 변수의 유의성을 검증하는 정태적 방식의 연구가 수행되어 왔을 뿐 상호 영향을 주고 받는 피드백(feed-back) 구조에서 혁신시스템에 대한 동태성을 분석하는 연구는 극히 일부의 연구자들에 의해서만 수행되어 왔다는 점이다.

따라서 종합하면 본 연구의 목적은 산업혁신시스템 관점에서 방위산업혁신시스템 특성을 규명하고 또한 방위산업 내에 존재하는 상이한 특성의 각 분야들을 산업적 특성에 따라 분류한 뒤 이러한 분류에 따라 세부 분야별 혁신시스템의 특성 및 기술혁신패턴을 동태적으로 규명하는데 있다. 또한 나아가 이와 같은 특성에 기반하여 방위산업의 발전을 위한 전략을 제시하는

데 그 목적이 있다고 할 수 있다.

특히, 본 연구는 방위산업의 각 분야를 각각의 특성에 따라 그룹화하고 각 그룹이 지닌 산업적 특성에 따라 Pavitt(1984)의 분류방법에 따라 구분하였다. 이러한 분류에 따라 각 분야별 기술체제 및 혁신주체의 지식과 학습과정의 차이와 네트워크 관계 그리고 제도의 역할 및 영향에 따른 혁신활동의 동태적 특성의 차이를 확인하고자 한다. 본 연구에서는 특히 이러한 혁신시스템 특성 및 기술혁신패턴의 규명을 위한 접근방식에 있어서 기존 연구들이 수행하였던 정성적 또는 통계적 유의성을 검증하는 방식이 아닌 시스템 사고(system thinking)를 바탕으로 혁신시스템의 혁신주체와 혁신결정 요인들간의 상호작용에 대한 동태성(dynamics)을 시뮬레이션 할 수 있는 시스템다이나믹스(system dynamics) 방법론을 사용할 것이다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 범위와 내용, 연구방법론은 다음과 같다. 먼저, 국방분야는 매우 다양한 변수들이 상호 영향을 주고 받고 있으며, 방위산업을 구성하는 혁신시스템 역시 다양한 혁신주체와 환경, 제도 등이 매우 복잡한 연관관계를 가지고 있다. 따라서 방위산업 혁신시스템의 특성을 규명하기 위해서는 특정주체 또는 특정분야에 국한된 미시적인 접근방법을 통해 구조적 특성을 식별하는 것이 아니라 통합적이고 거시적인 관점에서 방위산업과 이와 관련된 다양한 요인들간의 관계를 통합적으로 분석할 필요가 있다.

본 연구의 주된 연구범위는 방위산업 내에 구분되는 특징을 가진 세부 분

야들의 혁신활동에 대한 동태적 특성을 혁신구성요소 및 구성요소간 영향력의 차이에 따라 분석하는데 있다.

연구방법은 앞서 언급한 시스템사고에 기반한 시스템다이내믹스 방법론을 이용하였다. 시스템다이내믹스 방법론을 통해 방위산업의 혁신시스템을 구성하고 있는 주요 변수를 식별하고, 식별된 변수들을 이용하여 방위산업 혁신시스템에 대한 개념적 동태성을 확인할 수 있는 인과지도(causal loop diagram)를 작성하였으며, 끝으로 저장-유량 흐름도(stock-flow diagram)를 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 각 세부 분야별 혁신의 동태성을 비교하고 또한 혁신구성요소의 수준 및 연계의 강도조절을 통해 민감도를 비교 하는 방식으로 수행하였다.

본 연구는 총 6개의 장으로 구성된다. 제 1장 서론은 연구배경 및 목적, 연구방법과 범위, 연구의 의의를 기술하였으며, 제 2장에서는 기존연구 고찰을 통해 방위산업과 혁신시스템 그리고 산업혁신시스템 이론 및 연구동향에 대해 살펴보았다. 제 3장에서는 방위산업 혁신시스템에 대한 특징 분석을 통해 방위산업 혁신시스템의 구성요소 및 특성을 파악 하고 방위산업을 통합적 관점과 산업혁신시스템 관점에서 구분하여 개념적으로 분석하였다. 제 4장에서는 방위산업 혁신시스템의 시스템다이내믹스 모형을 구축하고 이에 대해 설명하였으며, 제 5장에서는 방위산업 혁신시스템에 대한 시뮬레이션 분석을 통합모형과 세부혁신시스템으로 구분하여 수행하고, 혁신시스템 구성요소에 대한 민감도 분석을 통한 세부혁신시스템의 특성을 분석하였다. 끝으로 제 6장은 연구결과요약 및 방위산업의 혁신을 위한 시사점과 연구한계

그리고 향후 연구방향을 제시하였다.

1.3 연구의 의의

산업혁신시스템 관점에서 방위산업의 특성을 규명하려 하였으며, 특히 방위산업 내에 세부 분야를 기술혁신 특성에 따라 분류하고 각각에 대한 혁신의 동태성을 규명하였다는 점이 본 연구가 갖는 가장 큰 의의라고 할 수 있다.

분석측면에서도 대부분 정성적인 서술에 의존하거나 일부 통계적인 기법을 활용한 상관계수를 밝혀내는 방법론이 아닌 다양한 요소간의 인과관계가 상존하는 방위산업 혁신시스템에 대한 동태성을 보여줄 수 있는 시스템다이내믹스를 사용하였다. 물론 일부 시스템다이내믹스를 이용하여 방위산업의 동태성을 파악하고자 한 선행연구들도 있으나 이 역시 시뮬레이션을 통한 검증까지 수행하지 않았거나¹ 시뮬레이션을 수행했다 하더라도 방위산업의 일부 분야만을 대상으로 수행되었다는 점에서 본 연구가 가지는 차별화된 의미가 있다고 할 수 있다.

본 연구가 갖는 연구의 의의를 종합하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 산업혁신시스템 연구에서 그 동안 많이 다루지 않았던 방위산업 혁신시스템의 특성을 분석하였다.

둘째, 기술혁신의 특성에 따라 구분되는 방위산업의 세부 분야에 대한 혁

¹ 시스템다이내믹스의 연구에서는 인과지도만으로도 사회현상을 충분히 설명할 수 있다는 견가 있음

신시스템의 동태적 특성을 규명하였다.

셋째, 그 동안의 방위산업에 대한 연구의 큰 흐름이 ‘산업’적 특성보다는 ‘안보’적 특성에 무게중심을 두고 수행되어 왔다면 본 연구는 방위산업의 ‘산업’ 특성에 무게를 두고 연구를 수행하였다.

넷째, 연구의 분석방법에 있어 선행연구가 정성적 분석 또는 일부 상관계수의 유의성에 대한 분석을 통해 방위산업 혁신시스템의 특성을 파악하려 하였다면 본 연구는 시스템다이내믹스 방법론을 적용함으로써 방위산업과 이와 관련된 변수들간의 피드백 구조 속에서 인과관계를 찾아 시뮬레이션 및 동태적 변화에 대한 분석을 수행하였다.

다섯째, 본 연구의 분석 결과는 방위산업의 혁신을 위한 보다 정교한 정책 방향을 제시할 수 있으며, 또한 모델의 지속적인 개선을 통해 지속적으로 변화하는 환경에서도 새로운 전략을 제시할 수 있다.

2. 기존연구 고찰

제 2장에서는 방위산업의 특성 및 기술혁신과 혁신시스템 이론 그리고 산업혁신시스템 이론에 대해 고찰하고 또한 산업혁신시스템 및 방위산업에 대한 선행연구에 대해 살펴볼 것이다. 이를 통해 산업혁신시스템 및 방위산업에 대한 이해를 높이고 각각의 연구 흐름에 대해 파악할 것이다.

2.1 방위산업의 특성

방위산업은 국가행위의 독립성을 보장하고 국가경제발전에 기여하며 국가 과학기술의 발전을 촉진하는 산업으로서, 특히 국가의 안보와 밀접한 관계가 있다는 점에서 다른 여타의 산업과는 구분되는 의미를 가지고 있다고 할 수 있다. 방위산업에 대한 정의는 각 국가에 따른 방위산업의 산업적 위상 및 발전 정도 그리고 해당국가의 군사적 능력 수준에 따라 다양하게 정의 되고 있다. 공식적인 방위산업에 대한 정의를 살펴보면 먼저 방위사업법에서는 방위산업을 ‘방위산업물자를 생산하거나 연구·개발하는 산업’으로 정의하고 있다. 여기에서 ‘방위산업물자’는 군수품 중 방위사업법 제 34조에 의하여 정부가 국가의 안보를 위해 필요한 물자로 지정한 것으로서 정부가 무기체계로 분류된 물자 중에서 안정적인 조달원 확보 및 엄격한 품질보증 등을 위하여 지정한 물자를 말하며, ‘방위산업’의 개념은 해당 분야의 고유한 특성보다는 수요자가 군·정부라는 관점에서 분류한 것으로, 표준산업분류 상으로는 기계, 금속·비금속, 전기, 화학 등 제조업의 전분야를 포함하고 있다(방위

사업청, 2008). 또한 국방백서에서는 방위산업을 ‘국가방위를 목적으로 하여 군사적으로 소요되는 물자를 연구, 개발하거나 생산하는데 종사하는 산업’으로 정의하고 있다(국방부, 2010). 끝으로 국방대학교 안보용어집에서는 ‘국가를 위하여 군사적으로 소요되는 물자, 즉 무기 및 소재를 개발하고 생산하는 산업’으로 정의하고 있다.

그 외 김진기(2008)는 방위산업을 ‘병기 등의 군수품을 생산하는 군수공업’으로 정의하였는데, 이와 같은 정의들을 종합해 보면 결국 방위산업은 국가의 안보를 위해 필요한 군사물자를 개발하거나 생산하는 산업’으로 정의할 수 있다.

미국은 방위산업에 대해 매우 구체적으로 정의하고 있는데 ‘정부 및 민간 소유 시설을 운용하여 육·해·공군의 시스템을 공급하는 주계약업자, 하청업자, 부품공급업자로 구성되며, 특히 군수품을 확실하게 자급자족하기 위하여 전시 및 비상 시 급속한 확장능력이 요구되는 산업’으로 정의하고 있다. 반면 유럽연합은 방위산업을 ‘군사용 물자에 대한 연구, 개발, 생산, 분석, 정비에 관여하는 모든 기업체 및 기관’으로 다소 광범위하게 정의하고 있다(삐에르 뒤쏘르, 2000). 일본은 우리나라와 유사하게 ‘방위생산에 관여하는 업계’를 총칭하여 방위산업이라 정의하고 있는데, 여기서 ‘방위생산’은 국가방위를 위하여 필요한 무기, 장비품, 기타 물자를 생산하는 것을 의미한다(일반국서 간행회 병학연구회, 2002).

앞서와 같이 정의된 방위산업은 다음과 같은 정책 목적과 목표를 갖는다. 먼저 방위산업의 정책목적은 ‘군사력 건설 지원(한국군 전투력 강화)’과 ‘전

시 대비 군수산업유지(전투지속능력 보장)이며, 정책목표는 ‘자주적 군사력 건설 지원’과 ‘경제적 방위산업 유지’이다(문종열, 2008).

[표 1] 방위산업의 정책 목적 및 목표

목 적	목 표
1. 군사력 건설지원=국방전력 유지 및 증강 - 전투력강화 2. 전시 대비 군수산업 유지 -전투지속능력 보장	1. 자주적 군사력 건설 지원 - 국방과학기술 및 방산물자의 국산화 2. 경제적 방위산업 유지 -국내 경제발전 기여 (수출, 산업발전, 고용창출) - 효율적 전력증강 (전략적 전력증강, 사업관리의 효율성)

출처: 문종열(2008), “방위산업 재정지출 성과와 과제”.

방위산업에 관한 연구는 주로 방위산업의 발전정책에 관한 연구를 중심으로 주로 수행되어 왔으며 혁신관점에서 논의도 일부 있어왔다. 먼저 방위산업의 발전정책 또는 전략에 관한 연구는 1970년 이후 본격적으로 수행되기 시작하였으며 연구는 방위산업이라는 특수한 성격에도 불구하고 KIDA, ADD, 국방대학교 등 유관 연구기관의 연구자뿐 아니라 대학 및 산업연구원 등 다양한 주체에 의해 수행되어 왔다.

한남성·임금순(1998)은 방위산업의 필요성과 역할에 대한 인식의 재정립에 관한 연구를 통해 방위산업의 필요성과 기대편익 효과 등을 고려한 정책방향을 제시하였으며, 송영일·우제환(2008)은 방산업체들의 경영성과에 미치는 영향요인에 관한 연구를 통해 방산업체들의 경영성과 개선을 위한

주요변수들을 식별, 분석하였다.

김진기(2009)는 한국의 방위산업 발전전략에 대한 연구에서 방위산업을 태동기인 박정희 정부 시대와 이후 정부 시대로 구분하여 시기에 따른 방위산업 발전전략의 차이를 규명하였고, 임치규·이훈영(2009)은 한국의 방위산업 육성 정책에 대한 연구에서 통계자료를 활용한 계량분석을 통해 방위산업육성 기본계획('08~'12)이 현실적으로 작성되었는지를 검증하였으며, 이를 통해 방위산업 발전을 위한 정책대안을 제시하였다.

이호석·남기현(2011)은 방위산업을 산업정책 측면에서 선진국과 비교 분석한 연구를 통해 방위산업의 경쟁력 확보를 위한 정책방향을 제시 하였다.

해외의 방위산업과 관련된 연구는 방위산업이 발전한 미국 및 영국 등의 연구소 및 대학 또는 국방관련 연구소의 연구자들에 의해 수행되었다.

Gholz & Sapolsky(1999)는 냉전 이후 미국 방위산업이 직면한 문제에 대한 분석을 통해 방위산업과 정부간의 새로운 관계를 모색해야 하며 방위산업 역시 새롭게 변화해야 한다고 주장하였으며, Kovacic & Smallwood(1994) 역시 냉전 이후 감소되는 국방예산 상황에 대해 미 국방산업이 큰 변화에 직면하고 있으며 이러한 변화를 극복하기 위해서는 경쟁정책 및 방위산업의 합병 등의 정책을 통해 경쟁력을 유지 발전시켜야 한다고 제안하였다.

방위산업에 대해 시스템다이내믹스를 이용한 연구와 혁신관점에서 다룬 연구도 일부 있어 왔다.

서혁·명건식(2007)은 시스템다이내믹스를 이용하여 방위산업을 분석하고 인과지도 분석을 통해 방위산업의 정책레버리지를 제시하였고, Michelle(1996)은 시스템다이내믹스를 이용하여 정부와 미 항공방위산업간의 관계를 모델링 하였으며, 시뮬레이션을 통해 항공방위산업의 효율성 확보를 위한 주요변수를 식별하였다.

방위산업의 혁신시스템과 관련한 연구들을 보면 Lazaric et al.,(2011)은 국가혁신시스템 관점에서 프랑스의 방위산업 혁신시스템의 변화의 필요성과 새로운 역량의 창출측면에서 정부기관의 역할 제안하였으며, 정용현(2005)은 방위산업의 시장구조 결정요인이 기술혁신과 시장지배에 미치는 영향에 관한 연구를 통해 수요 독점력과 진입장벽이 시장지배력을 강화하는 것으로 분석하였다. 또한 손윤곤(2008)은 방위산업체 기술혁신 결정요인의 분석을 통해 기업규모, 수출비율, 연구집약도에 따른 혁신성과의 유의성을 검증하였다. 검증결과 기업규모와 연구집약도의 혁신성과간에는 정(+)의 관계가 있는 것으로 분석되었다.

방위산업에 대한 혁신시스템과 관련된 연구들을 보면 방위산업을 국가혁신시스템의 틀에서 논의할 것인가 아니면 산업혁신시스템의 틀에서 논의할 것인가에 대해서는 의견이 양분된다. CEC(1996) 보고서에서는 냉전종식 이후 방위산업이 당면한 경제적 정책적 변화는 더 이상 방위산업이 국가단위에서 다루어지는 맥락을 벗어났다고 언급하고 있으며, 방위산업을 혁신시스템 관점에서 연구한 James(2005)는 방위산업을 국가혁신시스템을 논의하는 것은 더 이상 적절하지 않다고 주장하였다. 반면, Guillou et al.(2009)

은 국가혁신시스템이 방위산업에 있어 여전히 중요한 역할을 하고 있다고 주장하였다. 지금까지 보면 대체로 방위산업은 국가혁신시스템과 관계해서 발전하고 변화했다. 이는 방위산업 특성상 국가의 산업정책 및 R&D 체계 그리고 조달정책에 영향을 받는 경향이 강한 산업이기 때문이다. 그러나 앞서도 언급했듯이 James(2005)는 그의 연구에서 다음과 같은 이유로 방위산업의 논의가 이제 국가혁신시스템을 넘어 산업혁신시스템으로 지향점을 바뀌야 한다고 언급하고 있다.

첫째, 기술적 변화와 복잡성은 모든 방산제품의 기술적 발전을 단일국가에서 향상시키기 어려워졌으며 둘째, 민·군겸용기술의 사용이 증가됨에 따라 과학과 기술적 지식이 점점 지역 및 국가의 경계를 넘어 국제화 되어가고 있다. 마지막으로 유럽을 기준으로 정책적 요소들(안보 및 개발 등)이 각 유럽국가간 점점 공동화 되어 가고 있다는 점에서 국가단위에서의 논의가 적절하지 않다는 것이다. 이러한 주장은 결국 방위산업도 기술체제의 특성에 따라 세분화하고 이렇게 세분화된 방위산업 내 각 분야는 산업혁신시스템 관점에서 논의가 가능하다는 것을 의미한다. 즉, 방위산업 혁신시스템이 기본적으로 국가의 테두리에서 논의하는 국가혁신시스템을 기반하고 있지만 산업혁신시스템 관점에서 방위산업 혁신시스템을 분석할 여지가 충분히 존재한다는 것이다. 그 동안 방위산업은 하나의 통합적 관점에서만 다루어져 왔으나, 이미 많은 국가에서 방위산업 또는 이와 관련된 국방 R&D에 있어 각 분야별 특성에 따라 구분하고 각각에 적합한 발전 계획 및 전략을 수립해 왔다. 따라서 산업혁신시스템 관점에서 각 분야가 가지는 기술체제와 혁

신주체 그리고 혁신주체들 간의 네트워크 및 제도 안에서 방위산업에 대한 논의가 가능하다는 것이다.

[표 2] 방위산업에 관한 연구

구 분	연구내용
일 반	<ul style="list-style-type: none"> • 방위산업의 필요성과 역할에 대한 인식의 재정립에 관한 연구를 통해 방위산업의 필요성과 기대편익 효과 등을 고려한 정책방향을 제시 (한남성 · 임금순, 1998) • 방산업체들의 경영성과에 미치는 영향요인에 관한 연구를 통해 방산업체들의 경영성과 개선을 위한 주요 변수들을 식별 분석(송영일 · 우제환, 2008) • 방위산업을 산업정책 측면에서 분석하였으며, 선진국과의 비교를 통해 방위산업의 경쟁력 확보를 위한 정책방향을 제시(이호석 · 남기현, 2011) • 냉전 이후 감소되는 국방예산 상황에 대해 미 국방산업이 큰 변화에 직면하고 있으며 이러한 변화를 극복하기 위해서는 경쟁정책 및 방위산업의 합병등의 정책을 통해 경쟁력을 유지 발전시켜야 한다고 제안(William & Dennis, 1994)
시스템다이나믹스	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템다이나믹스를 이용하여 방위산업을 분석하고 인과지도 분석을 통해 방위산업의 정책레버리지를 제시(서혁 · 명건식, 2007) • 시스템다이나믹스를 이용하여 정부와 미 항공방위산업간의 관계를 모델링 하였으며, 시물레이션을 통해 항공방위산업의 효율성 확보를 위한 주요 변수의 식별 (Michelle, 1996)
혁신시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 국가혁신시스템 관점에서 프랑스의 방위산업 혁신시스템의 변화의 필요성과 새로운 역량의 창출측면에서 정부기관의 역할 제안(Lazaric et al., 2011) • 방위산업의 시장구조 결정요인이 기술혁신과 시장지배에 미치는 영향에 관한 연구를 통해 수요 독점력과 진입장벽이 시장지배력을 강화하는 것으로 분석(정용현, 2005) • 방위산업체 기술혁신 결정요인의 분석을 통해 기업규모, 수출비율, 연구 집약도에 따른 혁신성과의 유의성을 검증하였으며, 검증결과 기업규모와 연구집약도의 혁신성과간에는 정(+)의 관계가 있는 것으로 분석 (손윤곤, 2008)

2.2 혁신시스템-일반

기술혁신은 현대의 지식기반경제에서 가장 중요한 부의 원천으로(이원영, 2008), 이에 대한 개념은 Schumpeter(1961)가 기술혁신이 기술 자체의 발전뿐 아니라 경제시스템의 성장과 관련된 근본적 변화와 발전의 모든 과정이 기술혁신에 있다고 주장한 이후 사용되게 된 개념이다.

Schumpeter(1961)는 기술혁신을 공정, 시장, 재료 및 조직 등 생산수단의 새로운 결합을 통해 신제품이나 서비스의 생산과 마케팅 및 판매에 관련된 현상들로 정의하였다. 즉, 단지 생산방법에 대한 개선뿐 아니라 새로운 상품의 개발에서부터 이러한 상품을 만들기 위한 원료의 획득 및 판매루트의 개척 등이 포함된 개념이라 할 수 있다.

그 외에도 많은 연구자들이 기술혁신에 대해 정의하였는데, Damanpour & Evan(1984)은 기술혁신에 대해 제품 또는 서비스 및 공정과 관련된 새로운 기술이 기업활동에 영향을 주는 것으로 정의하였으며, Freeman(1982)은 경제적 관점에서 기술혁신을 새로운 제품, 공정, 시스템 또는 장치들이 최초의 상업적 이용과 관련된 과정으로 정의하였다. Bets(1998) 역시 비슷한 개념으로 기술혁신을 설명하였는데 새로운 기술을 발명하고 그것을 이용하여 제품, 공정, 프로세스를 개발하고 시장에 출시하는 것으로 정의하였다.

이렇듯 기술혁신은 기술 또는 과학을 새로운 방식으로 적용하는 일련의 과정뿐 아니라 이를 통한 상업적 성공까지를 포함한 행위로 정의할 수 있으며, 따라서 국가경제 및 산업 발전의 수준을 결정하는 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 특히 기술혁신은 물적 투입이 근본적인 한계를 가지고 있다고

할 때 경제성장을 위해 남은 원천인 생산성의 척도가 된다(이정동, 2011).

혁신시스템 이론은 혁신의 전개 과정이 단순히 과학기술적 진보로 발전되는 것이 아니라 제반 사회적 제도들과 긴밀한 상호 관계를 통해 형성되는 것이라는 포괄적 인식에 기초하여 발전하기 시작하였으며(이정동, 2011), 또한 혁신시스템 이론에서는 시스템의 동학(dynamics)을 중시하고, 나아가 기술의 변화와 제도 및 조직의 진화 과정을 연결시켜 파악하고 있다(Park, 2011). 혁신시스템은 SPRU에서 수행된 기술혁신연구와 진화경제학적 접근 방식의 영향을 받은 경향이 강한데 진화경제학적 접근에서는 혁신주체가 제한된 합리성과 변화하는 환경 속에서 혁신활동을 수행하고 있다고 파악하며 기술혁신에 있어 경로의존성이 있는 것으로 보고 있다.

Freeman(1987)은 혁신시스템에 대하여 새로운 기술을 획득하고 개량하며 확산시키기 위하여 활동하는 공공 및 민간 부문 조직들 간의 네트워크로 정의하였으며, Nelson & Rosenberg(1993)는 기술혁신의 성과에 영향을 미치는 조직체들의 집합으로 그리고 Edquist(1997, 2001)는 혁신의 개발, 확산 그리고 사용에 영향을 미치는 모든 경제, 사회, 정치, 조직 및 기타요인으로 혁신에 의한 성과들에 관한 접근이 아닌 혁신의 결정요인들에 대한 접근을 의미한다고 정의하였다.

혁신시스템에서는 혁신을 위한 전제조건으로서 혁신주체간 상호작용과 기술 및 지식기반 그리고 제도 및 환경이 중요하다고 주장한다.

기술혁신을 혁신시스템적 관점에서 정의하고 그 구성요소를 살펴보면 다음과 같다. 혁신시스템은 크게 조직(organizations) 또는 혁신주체(actor)

및 혁신주체들간의 연계(linkage), 그리고 하부구조(infrastructure), 제도(institution)로 구성되며, 혁신시스템 내에서 기술혁신은 각각의 혁신주체의 독립된 노력에 의해 창조되기보다는 혁신시스템 구성요소간 연계에 의해 창조되고 발전한다. 이 중 조직과 제도는 혁신시스템에 가장 중요한 영향을 미치는 구성요소이다(Edquist, 2001)

혁신과정의 특징을 몇 가지 정형화된 사실로 요약하면, 첫째 혁신은 다른 주체들과의 관계속에서 상호 학습하고 영향을 주고 받으며 이루어진 결과물이며, 둘째, 행동규칙으로서 제도는 혁신주체의 행동양식을 정의하고 연계형태와 강도를 결정하는데 중요한 역할을 담당하고 있다. 마지막으로 혁신은 여러 가지 시행착오를 거치면서 ‘진화적’으로 이루어진다고(Edquist; 1997, 이정동; 2011).

기술혁신에 대한 시스템적인 접근방법의 시작은 특정 지역에서 경제활동이 집중되는 산업지구에 대한 연구에서 찾아 볼 수 있으며(Marshall, 1910), 이후 1980년 중반 이후 국가혁신시스템과 지역혁신시스템(regional innovation system : RIS) 그리고 산업혁신시스템 등의 개념으로 발전하였고, 1990년 중반 이후에는 기술하부구조 및 대단위 기술시스템 등 다양한 개념들이 제시되어 왔다(성태경, 2004).

세부적으로 국가혁신시스템은 Nelson & Rosenberg(1993)가 일본과 아시아신흥공업국의 성공에 대한 분석을 통해 국가의 기술혁신역량이 정부의 산업정책과 혁신정책 등에 의해 제고 될 수 있음을 지적한 이후 OECD를 중심으로 세계 주요국들의 기술혁신시스템을 벤치마킹하는 연구가 활발하게

진행되었다.

국가혁신시스템에 대하여 Freeman(1987)은 ‘활동과 상호작용을 통해서 새로운 기술을 창안하고 도입하며, 수정·확산시키는 공공 및 민간부문의 다양한 제도들의 네트워크’로 정의하였으며, Lundvall(1992)은 특정국가 내에서 새롭고 경제적으로 유용한 지식의 생산, 확산 그리고 활용을 위하여 상호 작용하는 구성요소 및 관계의 집합으로 정의하였다. 또한 Nelson & Rosenberg(1993)는 ‘기술혁신성장에 영향을 미치면서 주된 역할을 수행하는 조직체들의 집합’으로 정의하였으며, Mecalfe(1995)는 신기술의 개발 및 확산에 개별적 또는 공동으로 기여하는 독립적인 제도들로 정의하면서 이러한 제도들이 정부의 혁신정책을 형성하고 이를 통해 지식과 숙련을 창출하고 저장 그리고 이전할 수 있게 하는 상호 연관된 체계로 정의하였다. 국가혁신시스템은 과학기술혁신역량을 갖춘 선진국과 그들을 추격하며 역량을 키운 신흥산업국들의 과학기술혁신 현상과 그것의 산업 및 경제적, 사회적 함의를 분석하는 데 효과적으로 사용되어 왔는데(박상욱, 2010), 국가혁신시스템은 결국 혁신시스템을 구성하는 혁신주체들(정책수립기관, 대학, 연구소, 기업 등)과 이러한 혁신주체들간의 연계로 구성되며, 국가혁신시스템과 관련된 실증연구들을 통해 확인된 주요 결과들을 보면 국가혁신시스템에서는 기술혁신에 영향을 미치는 제도의 역할을 강조한다.

지역혁신시스템은 국가혁신시스템이 동일한 국가 내에서 지역적 차이가 발생하는 점에서 시작한 혁신시스템으로서 기술혁신에 있어 지역적 차이를 중요시한다. 지역혁신시스템에 대해 Philip(2002)는 지역에서 기업들의 혁

신성과를 촉진하기 위해서 상호작용하는 네트워크와 제도, 그리고 제한된 지리적 범위에서의 기술혁신과 관련된 조직들의 결합체로 정의하였으며, 윤윤규·이재호(2004)는 지역을 단위로 하여 경제적으로 유용한 새로운 기술·지식의 생산, 확산, 활용에서 상호작용하는 요소들과 주체들간의 형성되는 관계로 정의하였고, 이상룡(2001)은 지역산업을 중심으로 한 경제주체들간의 연결망으로 정의하였다. 지역혁신시스템에서도 국가혁신시스템과 마찬가지로 시스템을 구성하고 있는 구성요소들이 존재하는데 이정동(2011)은 지역혁신시스템 역시 혁신의 주체들과 연계, 그리고 혁신주체들의 행동을 규율하는 제도적 환경으로 구성된다고 하였다. 다만 지역혁신시스템에서는 국가혁신시스템과 달리 중앙정부의 역할보다는 지역을 기반으로 한 지방정부나 지역 내 혁신주체들의 관계가 보다 중요하다고 할 수 있다.

2.3 산업혁신시스템

산업혁신시스템은 기존의 혁신시스템이론 중 국가혁신시스템이론이 가지는 한계, 즉 국가혁신시스템이론을 통하여 기술혁신에 대하여 분석할 경우 동일한 국가 내에서 기술혁신이 산업마다 다르게 나타나는 현상을 설명하기 위해 등장한 이론이다. 따라서 산업혁신시스템적 접근에 있어 기준은 주로 다양한 기술 및 제품영역으로 한정된다(Breschi & Malerba, 1997; Carlson, 1995; Nelson & Mowery, 1999). 산업혁신시스템은 산업마다 기술체계(technological regimes)가 다르기 때문에 기술혁신의 과정 역시 다르게 진행된다는 관점에서 출발하였으며, 산업혁신시스템에서 ‘산업(sector)’은 ‘공

통된 지식기반을 가지며, 주어진 수요를 만족시키는 활동들의 집합'으로 정의된다(Malerba, 2004). 산업혁신시스템에서도 다른 혁신시스템 이론과 동일하게 기술혁신의 원천이라 할 수 있는 지식과 기술 그리고 혁신주체 및 네트워크 끝으로 제도가 존재하며 이러한 요소들의 특성에 있어 산업마다 차이가 존재하고 있음을 제안하고 있다.

산업혁신시스템은 Malerba & Orsenigo(1996)에 의해 제안되었으며 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 먼저 산업혁신시스템에서는 공급 및 수요 그리고 시장적 요소를 함께 고려하며, 또한 기업, 대학, 공공연구기관, 연구기획기관 등 보다 다양한 혁신주체들을 고려한다. 더불어 이러한 혁신 주체들간 시장 내에서의 상호작용뿐 아니라 비시장적 요소(제도, 정책 등) 등도 고려한다.

산업혁신시스템의 구성요소는 크게 세가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 구성요소는 기술체제로서 기술체제는 지식에 기반한 기술적 특성으로 정의된다(Rosenberg, 1976). 산업혁신시스템에서 지식 또는 기술은 기술적 변화의 기초로서 혁신에 있어 중심적인 역할을 수행한다. 산업혁신시스템 관점에서는 산업마다 특정한 기술기반을 가지고 있으며 나름대로의 특성을 가지고 있다고 보고 있다. 즉, 산업마다 상이한 기술들의 토대를 가지고 있으며 이러한 차이점이 산업의 성격, 범위 그리고 조직에 영향을 미치게 된다(Grandstand, 1994; Rosenberg, 1976). 특히 Malerba & Orsenigo(1996)는 산업마다 다른 혁신활동의 패턴을 가지게 되는데 이러한 혁신패턴의 차이는 산업마다 다른 혁신의 기회성, 전유성, 누적성의 차이가 존재하기 때문

으로 설명하였다. 먼저 기회성은 ‘혁신활동의 성공가능성’을 말하며 전유성은 ‘경쟁자의 모방으로부터 혁신을 보호하고 독점적 이윤을 획득할 가능성’을 의미한다. 끝으로 누적성은 ‘새로운 지식의 창출이 기존에 보유한 지식에 기반하고 있는 정도’라 할 수 있다. 기술체제는 산업마다 차별화 되며 결국 기술체제의 차이가 산업혁신시스템 내에서 혁신주체 및 상호 네트워크에 영향을 미치게 된다.

산업혁신시스템의 두 번째 구성요소는 혁신주체 및 혁신주체간의 네트워크이다. 산업 내에는 다양한 혁신주체가 존재하고 있으며 혁신주체들은 각기 고유의 조직구조 및 학습능력 그리고 목표 등을 가지고 있다. 시스템 내에서 각 혁신주체들의 고유한 특성들은 혁신주체들간 시장 또는 비시장적 관계 속에서 협력, 경쟁, 그리고 교환 등의 행동을 통해 상호 영향을 미치게 된다. 정리하면 결국 산업마다 혁신주체간 네트워크 유형과 조직구조가 다르게 나타나며 산업혁신시스템에서는 이와 같은 혁신주체들간 상호작용의 차이가 산업의 기술혁신 및 새로운 지식 창출에 각기 다른 영향을 미치게 된다.

마지막 구성요소는 제도인데 제도는 혁신주체들의 행동 및 상호작용의 형태를 규정하게 되는 역할을 하게 되어 결국 혁신을 제약하거나 조정 또는 가능하게 하는 역할을 하게 된다. 제도에는 규범, 법, 표준 등과 같이 강제성이 있는 제도로부터 혁신주체 상호작용에 의하여 형성되는 제도까지 다양하게 존재한다. 특히, 산업혁신시스템에서 제도의 영향에 따른 결과는 산업마다 다르게 나타나는데 특허제도, 지적 재산권법, 공정거래법 등과 같은 제도가 산업에 따라 기술혁신에 상이한 효과를 초래한다는 것이다(Levin et al.,

1987).

산업마다 가지는 기술혁신의 특징에 대해 Malerba(2004)는 [표 3]과 같이 분석하였다.

[표 3] 주요산업별 기술혁신의 특징

분 야	기술혁신의 특징
제약/바이오 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 과학과 대학, 국가보건시스템 등이 혁신에 중요한 역할 · 소규모부터 대규모까지 다양한 혁신주체 존재 · 수요와 제도가 중요
통신장비/서비스분야	<ul style="list-style-type: none"> · 다른 기술들과의 네트워크를 통한 융합이 중요 · 제도가 혁신의 주요역할 · 다양한 혁신주체가 존재
화학분야	<ul style="list-style-type: none"> · 대규모 기업/기관에 의한 지속적 연구가 혁신의 주요역할 · 내부 R&D의 규모가 혁신 우위의 장점을 가져옴
S/W 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 응용이 혁신의 주요역할 · 다른 분야와 노동의 수평적/수직적 분업이 상존
기계분야	<ul style="list-style-type: none"> · 점증적 기술발전이 혁신의 주요역할 · R&D의 역할이 상대적으로 미약 · 사용자와의 연계, 내부인적 자본이 혁신에 중요

출처 : Malerba(2004), “Sectoral System of Innovation: Concepts, Issues and analyses of six major sectors in Europe”.

먼저 바이오 및 제약산업에 있어 중요한 혁신구성요소는 과학과 대학, 국가보건시스템 등이 혁신 프로세스에 중요한 역할을 수행하고 있으며, 특히 제도(규제, 지적권, 국가보건시스템 등)가 혁신 프로세스에 미치는 영향이

크다는 특징을 가지고 있다. 다음으로 통신 장비 및 서비스 산업은 혁신 주체들간의 네트워크를 통한 기술들의 융합과 지식의 통합이 중요하며 또한 표준화, 제도적 환경, 개인화, 자유화 과정에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

다음으로 화학산업은 내부 R&D 뿐 아니라 외부 연계 및 외부의 과학적, 기술적 지식을 흡수할 수 있는 역량이 혁신에 있어 중요하며, 소프트웨어산업은 혁신주체 중 사용자-생산자의 연계가 중요하고 네트워크, 고급 숙련 인력의 높은 이동성과 지적재산권 및 표준화 그리고 환경과 협력 등이 혁신에 중요한 역할을 한다. 마지막으로 기계 및 도구 산업은 특화된 지식을 기반으로 높은 전문성을 가지고 있으며, 혁신주체에 있어서는 사용자-생산자 관계, 혁신주체들간의 지역적 네트워크와 내부 경험이 있는 인적 자본이 혁신을 위한 중요한 역할을 한다.

산업혁신시스템 관점에서는 산업마다 기술혁신의 패턴이 다르게 나타난다. 또한 [표 3]에서도 알 수 있듯이 산업마다 지식기반, 혁신구성요소 및 네트워크 그리고 제도의 영향이 다름을 알 수 있다. 이러한 산업별 차이는 기술혁신의 패턴에서도 차이를 보이게 된다. Pavitt(1984)은 혁신의 원천과 혁신기업의 크기, 주요활동 분야 그리고 혁신의 활용에 따라 산업별 혁신패턴의 유사점과 차이점을 [표 4]와 같이 분류하였으며, Tidd & Pavitt(1997)은 [표 5]과 같이 산업별 혁신패턴의 특징을 확장하여 분류하였다.

[표 4] 혁신패턴에 따른 분류 및 특징

분 야	혁신패턴의 특징	주요산업
공급자주도형	기술혁신이 새로운 부분이나 장비에 내장되어 출현하며, 혁신의 확산과 학습이나 활용과정에서 발생	섬유, 의류, 가죽, 인쇄, 출판, 목재
규모집약형	혁신은 공정 및 제품혁신 모두에서 발생하며 규모의 경제가 존재	자동차, 철강, 유리, 시멘트
전문공급자형	혁신의 원천이 내부적으로는 암묵적 지식, 숙련된 기술자 경험, 외부적으로는 사용자와 생산자간의 상호활동에 의해 발생	기계, 장비
과학기반형	제품이나 공정 모두 급격한 혁신이 이루어지며 기업규모가 대체로 큼	제약, 전자

Pavitt(1984), "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory".

Tidd & Pavitt(1997)의 분류에 따르면 공급자 주도형 산업의 경우 제품 자체의 혁신보다는 제품의 원료를 공급하는 공급자의 혁신이 혁신에 있어 중요한 역할을 하고 있는 것으로 나타났으며, 규모집약형 산업의 경우 자동차, 철강과 같이 규모의 경제가 발생할 수 있는 대규모 기업에서 제품 및 공정혁신 모두 발생하는 것으로 나타났다. 또한 전문 공급자형의 경우 내부 인적자원에 의한 R&D가 중요하며, 과학기반형 산업의 경우는 기업규모가 대체적으로 크고 급진적 혁신이 발생하는 것으로 나타났다.

[표 5] 산업별 기술혁신패턴의 차이

구 분	공급자 주도형		규모집약형	정보집약형	과학기반형	전문공급자
	자원집약형	노동집약형				
대표산업	식품가공, 석유화학, 비철금속, 세라믹	섬유, 의복, 가죽, 신발목재, 전동기계	철강, 유리, 조선, 가전 자동차	정보통신 금융, 도소매, 출판, 여행	전기전자, 화학, 의약, 생명공학, 우주, 항공	공작기계, 도구, 자본재, 일반산업용기계
기업규모	대기업	중소기업	대기업	대기업	대기업	소기업
사용자유형	가격탄력적	가격탄력적	혼합	혼합	혼합	성능탄력적
기술활동주요목표	비용감축	비용감축	혼합	혼합	혼합	제품개선
기술축적주요원천	공급자연구개발 및 자문서비스, 생산학습	자체 R&D	생산엔지니어링, 생산학습, 공급자 디자인	소프트웨어 및 시스템엔지니어링, 장비	자체 R&D, 기초연구	제품설계, 사용자연구개발, 부품 및 소재공급자
기술축적주요방향	공정기술, 관련장비	공정기술, 관련장비	공정기술, 관련장비	정보처리 시스템의 운영 및 디자인	기술관련 제품	제품개선
모방기술이전통로	장비 및 관련서비스 구매	장비 및 관련서비스 구매	장비구입, 노하우, 라이센싱	장비 및 소프트웨어 구매	R&D 경험, 풍부한 공학자 및 과학자 채용	공급사용자들로 부터의 학습
기술전유수단	비기술적		공정기밀, 디자인 및 운영노하우	저작권, 디자인 및 운영노하우	R&D 노하우, 특허, 디자인 및 운영노하우	디자인노하우, 특허

출처 : Tidd & Pavitt(1997), “Managing Innovation Integrating Technological Market and Organizational Change” .

산업혁신시스템에 대한 선행연구들을 보면 산업간 혁신구성요소의 차이가 있음을 강조하며 이러한 차이가 혁신패턴의 차이를 가져온다고 분석하고 있다. 산업별 혁신패턴에 관해 Pavitt(1984)은 기술혁신의 기회와 혁신원천 관점에서 산업을 분류하고 영국의 혁신데이터 분석을 통해 산업별 혁신패턴의 차이와 지식연계의 특성을 처음으로 규명하였다. Falulker &

Senker(1992, 1994)는 생명공학 및 세라믹 그리고 컴퓨터 산업을 대상으로 한 산업간 혁신시스템의 차이에 대한 연구를 통해 동종 분야의 경우에서도 연계성향이 기업간 차이가 있음을 보여주었다.

산업혁신시스템에서 혁신패턴은 크게 지식의 기회성, 전유성, 누적성 및 기반의 차이로 구분되는 기술체제의 특성 및 혁신주체와 주체간 네트워크 그리고 제도적 영향의 차이에 따라 구분된다. Malerba & Orsenigo(1996)에 따르면 전유성 및 누적성이 낮은 산업의 경우 혁신의 진입장벽이 낮으며 비교적 시장진입이 자유롭고, 반대로 높은 전유성과 누적성을 갖는 산업의 경우에는 진입장벽이 높아 과점적 시장구조가 형성 되는 것으로 분석하였다. Breschi et al.(2000)는 유럽과 미국의 특허자료를 이용한 분석을 통해 전유성과 누적성이 높은 산업에서 혁신의 집중성이 강하다는 것을 실증적으로 분석하였다. 혁신에 사용되는 지식의 특성에 따른 산업적 특성도 다르게 나타났다 Breschi & Malerba(1997)에 따르면 의약이나 컴퓨터 산업이 일반적·명목적 지식에 크게 의존한다면 기계산업은 특수적·암묵적 지식에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 홍장표(2010)는 국내 제조업 DB를 이용하여 지식외부성의 원천과 지식전파가 유발하는 기술혁신을 산업별로 분석하였고 분석결과 특수적·암묵적 지식기반 산업에서는 일반적·명목적 지식기반 산업과 달리 기업의 혁신성고가 입지특성으로부터 영향을 받는 것으로 나타났으며, 고기술-특수적·암묵적 지식기반 산업에서는 연구개발자본이 풍부한 지역, 저기술-특수적·암묵적 지식기반 산업에서는 동종산업의 집적도가 높은 지역에 입지한 기업일수록 제품혁신이 활발하였다. 또한 제품혁신

을 선도적 혁신과 추종적 혁신으로 구분하여 지식전파가 유발하는 혁신수준을 산업별로 알아보았는데, 저기술산업에서는 외부로부터 전파된 지식이 선도적 혁신과 추종적 혁신을 유발하고 고기술산업에서는 추종적 혁신만 유발하는 것으로 나타났다. 송위진(2000)은 산업별 기술혁신 패턴의 분석을 통해 산업별로 기술혁신의 원천 및 전유체제에 차이가 있음을 확인하였으며, 노지혜 외(2010)은 기술집약도에 따른 국내 제조업의 기술혁신 패턴 분석을 통해 각 분야가 산업별 특성을 반영하지 못한 채 Pavitt(1984)의 과학기반형 혁신패턴을 따르고 있는 것으로 확인하였다.

네트워크 측면에서 Gemunden et al.(1992)은 선도적 사용자와 긴밀한 관계를 가지며 연구기관이나 대학과 협력하고 다른 회사들과 R&D 협력계약을 맺는 기업들이 기술적 성공을 거둔다는 사실을 입증하였으며, Shan et al.(1994)은 기업의 협력네트워크가 혁신성장에 미치는 영향을 추정하였다. Love & Poper(1999)는 영국 제조업을 대상으로 기업간 협력이 혁신성장에 미치는 영향을 분석하였는데 R&D와 혁신에서 고객과 공급자간 생산네트워크가 혁신성장에 기여한다는 사실을 확인하였다. Jaider et al.(2008)은 기업의 제품혁신에 있어 내·외부 요소들의 효과에 대한 연구를 통해 내부 R&D가 제품혁신에 중요한 결정요인임을 확인하였으며 또한 기술적 기회 측면에서 비산업적 요인들은 영향이 크지 않은 것으로 확인하였다.

[표 6] 산업별 혁신패턴 및 구성요소들에 관한 선행연구

구분	연구내용
국외	<ul style="list-style-type: none"> · 전유성 및 누적성이 낮은 산업의 경우 혁신의 진입장벽이 낮아 비교적 시장진입이 자유롭고 반대의 경우 과점적 시장구조가 형성 되는 것으로 분석 (Malerba & Orsenigo, 1996) · 동종 분야의 경우에서도 연계성향이 기업간 차이가 있음 (Falulker & Senker, 1992; 1994) · 유럽과 미국의 특허자료를 이용한 분석을 통해 전유성과 누적성이 높은 산업에서 혁신의 집중성이 강함(Breschi et al., 2000) · 의약이나 컴퓨터 산업이 일반적·명목적 지식에 크게 의존한다면 기계산업은 특수적압 목적 지식에 크게 의존(Breschi & Malerba, 1997) · 네트워크와 혁신간에 긴밀한 관계를 가지고 있음(Gemunden et al., 1992) · 기업의 협력네트워크가 혁신에 영향을 미침(Shan et al., 1994) · R&D와 혁신에서 고객과 공급자간 생산네트워크가 기여(Love & Poper, 1999)
국내	<ul style="list-style-type: none"> · 저기술산업에서는 외부로부터 전파된 지식이 선도적 혁신과 추종적 혁신을 유발하고 고기술 산업에서는 추종적 혁신만 유발(홍장표, 2010) · 산업별 기술혁신 패턴의 분석 결과 산업별로 기술혁신의 원천 및 전유체제에 차이가 있음(송위진, 2000) · 기술집약도에 따른 국내 제조업의 기술혁신 패턴 분석을 통해 각 분야에서 산업별 특성을 반영하지 못한 채 Pavitt(1984)의 과학기반형 혁신패턴을 따르고 있는 것으로 분석(노지혜 외, 2010)

시스템다이내믹스를 이용한 혁신시스템 연구에서 Lopez(1997)는 지역혁신시스템에서 과학과 기술의 관계와 영향을 분석하였으며, Lee et. al.,(2005)은 대만의 IC 산업에 대한 혁신시스템 모델링을 통해 산업기술 정책의 평가 및 영향에 대해 시뮬레이션 하였다. Chen & Jan(2005)은 대만의 반도체 산업에 대한 시스템다이내믹스 모델링을 통해 혁신시스템 내에서

자본, 기술, 인적자원과 혁신역량간의 관계를 분석하고 발전을 위한 전략을 제시하였다.

국내에서는 최강화 외(2005)이 기술혁신의 동태성에 대한 시스템다이나믹스 분석을 통해 R&D 투자와 혁신, R&D 시차와 수익성, 제품혁신의 수명주기와 신제품 개발 기간과의 관계에 대해 분석하였으며, 윤진효·원동규(2004)는 시스템다이나믹스를 이용한 국가혁신체제의 개편에 관한 연구를 통해 종합조정체제의 효과를 분석하였다.

[표 7] 시스템다이나믹스를 이용한 혁신시스템 연구

구 분	연구내용
국 외	<ul style="list-style-type: none"> · 지역혁신시스템에서 과학과 기술의 관계와 영향을 분석(Lopez, 1997) · 대만의 IC 산업에 대한 혁신시스템 모델링(Lee. et al., 2005) · 혁신시스템 내에서 자본, 기술, 인적자원과 혁신역량간의 관계를 분석(Chen & Jan, 2005)
국 내	<ul style="list-style-type: none"> · 기술혁신의 동태성을 시스템다이나믹스를 통해 분석(최강화 외, 2005) · 국가혁신체제의 개편에 관한 연구를 통해 종합조정체제의 효과를 분석(윤진효·원동규, 2004)

3. 방위산업혁신시스템의 특징과 연구가설

제 3장에서는 방위산업의 산업적 특징에 대해 살펴보고 이를 통해 방위산업 혁신시스템을 구성하고 있는 주요 혁신주체들과 이들간의 상호 네트워크 그리고 제도 및 환경적 영향 요인에는 무엇이 있는지 식별할 것이다. 이와 같은 파악을 통해 전체 방위산업 측면에서 방위산업 혁신시스템의 기술체제 및 혁신주체 그리고 네트워크 특성을 분석할 것이며, 또한 Pavitt(1984)의 분류기준에 따라 방위산업 내 존재하는 세부 분야를 특성에 따라 분류하고 각각의 혁신시스템에 대해서 분석할 것이다. 이러한 방위산업 혁신시스템에 대한 특성 분석 및 세부 분류는 개념적 측면에서 방위산업 혁신시스템을 이해할 수 있게 할 것이며 더불어 시스템다이나믹스를 통한 방위산업 혁신시스템 구조의 모델링을 보다 신뢰성 높은 수준에서 구성할 수 있게 할 것이다.

3.1 방위산업의 산업적 특징

일반적으로 방위산업을 육성하거나 보호해야 한다는 당위성에는 반론의 여지가 없다. 그러한 이유는 방위산업이 일반적인 산업과는 확연히 다른 특징을 지닌 산업이기 때문이다.

방위산업이 일반산업과 다른 첫 번째 특징은 바로 안보산업이라는 점이다. 즉, 단순히 경제적 이익만을 창출하기 위한 산업이 아닌 외부의 위협으로부터 국민, 영토, 체제를 수호하기 위한 군사적 행동을 수행할 수 있게 하는

산업인 것이다. 물론 군사적 행동을 수행하기 위한 군사력의 건설에는 자국의 방위산업을 통한 조달 외에도 해외구매를 통한 방법이 있을 수 있다. 그러나 방위산업의 기반유지는 국가의 안전보장을 위한 산업으로서 국제 분쟁의 상황 시 외국의 무기 수출금지로부터 발생하는 위험으로부터 자유롭게 해준다(김진기, 2008). 따라서 방위산업은 국가의 안전보장을 위한 국가행위의 독립성 보장에 매우 중요한 산업이며, 일반적인 경제논리에 의해 산업적 존폐여부가 적용되지 않는 산업이라고 할 수 있다. 특히, 최근 전쟁의 패러다임의 과거 플랫폼 위주에서 전장에서 모든 제 요소가 하나로 통합되는 네트워크중심전 양상으로 변화되고 있다는 점에서 방위산업 수준 및 안정적 유지는 국가안보와 직결된다고 할 수 있다. 그러나 방위산업의 모든 분야를 동일하게 안보적 테두리 안에 적용하기에는 다소간 무리가 따르는 점도 있다. 왜냐하면 방위산업을 구성하고 있는 산업마다 각각 다른 시장상황에 놓여있을 뿐 아니라 새로운 기술적 패러다임으로의 전환이 요구되는 산업도 존재하기 때문이다.

방위산업이 일반산업과 다른 두 번째 특징은 첨단과학기술이 집약된 산업이며 최신기술이 적용되는 산업으로서 기술을 선도하는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징은 현대전에서 무기체계의 성능이 곧 전쟁에서의 승리를 좌우하는 중요한 요소로 작용하기 때문이다. 적보다 먼저 탐지하고 적보다 우세한 화력으로 공격하거나 적의 공격을 기만하기 위해서는 그만큼 상대방보다 우월한 최첨단의 과학기술이 요구될 수 밖에 없다.

한편, 방위산업을 통해 발현된 군사과학기술은 그 동안 민간과학기술의 발

전을 견인해 왔다. 물론 과거에 비해 민간과학기술의 발전속도가 비약적으로 발전하면서 민간과학기술발전에서의 군사과학기술이 차지하는 역할이 상대적으로 줄었지만 여전히 다양한 분야에서 핵심기술은 국방과학기술을 통해 민간부분으로 이전·적용되고 있으며, [표 8]는 국방과학기술이 민간과학기술에 활용된 사례이다. 특이한 점은 사례에서도 나타나듯이 국방과학기술의 민간과학기술 활용이 산업적으로 각각 다른 분야에 적용되고 있다는 점이다.

[표 8] 국방과학기술의 민간과학기술 활용사례

국방과학기술	민간과학기술에 활용사례
레이저 무기	레이저를 이용한 절단, 용접기술
위치보고 시스템	열차 자동제어 장치
GPS 시스템	네비게이션 시스템
컴퓨터 영상처리기술	자동라인 판정 시스템
광학장비	카메라, 안경 등
인트라넷	인터넷
화포사격 통제장치	가스 보일러 통제장치
탄도계산기, 레이저 거리측정기	적외선 경보기 제작
전자유도무기 및 레이더 개발	선박용 레이더, 해상전자장비
전차 및 장갑차 용접, 가공 및 표면처리	전동차 및 철도차량 제작
박격포, 발칸포 부품 가공기술	선반 및 각종 공장기계

출처: 국가과학기술자문회의(1997), “민·군겸용 기술개발 활성화 방안”.

방위산업이 갖는 세 번째 특징은 시장구조에서 찾을 수 있다. 방위산업은 철저히 수요자 중심의 시장구조를 지닌 산업이다(방위사업청, 2008). 방위산

업은 기본적으로 정부 또는 군이라는 독점적 수요자만 존재하며, 공급 역시 과점형태로 운영되는 쌍방독과점적 시장구조를 지닌 산업이다. 특히, 정부에 의한 수요 독점은 방산제품의 국내 및 해외조달 여부를 결정할 수 있으며, 공급업체 지정 및 조달물량을 결정할 권리를 가지게 된다(국방조달본부, 2001). 이와 같은 시장구조에서는 균형가격 및 생산량이 시장에서 자율적으로 정해지기 보다는 쌍방의 협상에 의해 정해지게 된다. 그러나 보통 방위산업에서는 수요자인 정부가 가격 및 생산량 결정에 보다 높은 권한을 가질 수 밖에 없다.

또한 일반적으로 시장이 수요에 따라 설비 변경 및 철거 등을 자유롭게 조절할 수 있는 것에 비해 방위산업은 안보적인 요인으로 인해 해당 방산물자의 생산종료 후에도 임의로 변경 및 철거할 수 없으며 정부의 통제에 따라야 하는 특성을 가지고 있다. 이러한 시장구조의 독특한 특성은 방위산업을 자율적인 시장논리에 의한 운영보다는 정부의 적극적인 통제를 받을 수 밖에 없는 시장구조를 갖게 하였다. 따라서 정책적 영향이 타 산업에 비해 크게 작용하는 산업이라고 할 수 있으며, [표 9]는 이러한 쌍방 독점구조를 가지는 방위산업의 구조적 문제점이다. 그러나 방위산업의 시장 구조의 문제점에 대한 해결방안은 모두 동일할 수는 없을 것으로 판단된다. 이는 방위산업을 구성하는 각 분야의 산업적 특징이 모두 다르고 각기 다른 시장구조를 가지고 있기 때문이다.

[표 9] 쌍방 독과점과 관련된 방위산업의 구조적 문제점

특성	원인	결과
시장최적 수준에 비해 적은 생산량	- 규모의 경제 달성의 어려움	- 제조업에 비해 낮은 수익성
계약 또는 협상에 의한 가격 결정	- 관계특수한 자산 · 방산전용 생산 설비 및 기술	- 숙박으로 인한 가격협상 불리, 비효율성 발생 · 민수용으로 충분히 활용하지 못함
	- 비용(원가), 품질, 생산 효율성에 대한 정보 비대칭성	- 공급자(방산업체)의 비용 실적에 근거해 가격 결정 · 도덕적 해이 가능성 존재
	- 수요자(정부)의 제한된 예산에 의존해 공급자(방산업체)의 매출이 결정됨	- 방산 기업의 이익 유연화 요인 존재 - 소요 물량 변동에 따른 초과 생산 능력과 유휴 설비의 유지비 부담
	- 시장실패와 정부실패 가능성 상존	- 일괄적인 보조금 지급이나 정부의 지원은 방산제품의 가격을 더 높일 가능성 존재

출처:안영수 외(2011), “방위산업의 글로벌 환경 변화와 경쟁력 평가”.

방위산업이 갖는 네 번째 특징은 연구개발에 있어 막대한 투자가 필요하며 이러한 투자금의 회수 역시 장기간이 소요된다는 점이다. 장기투자 및 투자금 회수의 위험은 민간부분에서의 방위산업 연구개발에 대한 참여를 주저하게 만드는 요인이 되어 왔다. 물론 방위산업 내 각 분야별로 차이는 존재하기는 하지만 이로 인해 지금까지 방위산업은 R&D 보다는 단순 양산에만 치우쳐 발전하였다.

앞서 설명한 방위산업과 일반산업과의 차이를 시장 및 산업관점에서 요약하면 각각 [표 10] 및 [표 11]과 같다.

[표 10] 시장관점에서 본 방위산업과 일반산업과의 차이

구 분	방위산업	일반산업
수요	<ul style="list-style-type: none"> - 정부계획 의거 · 비교적 확실한 수요예측 · 국가가 유일한 수요자 	<ul style="list-style-type: none"> - 시장분석에 의거 · 불확실한 수요예측 · 수요자가 다수
공급	<ul style="list-style-type: none"> - 방산업체가 유일한 공급자 - 공급자 임의 대체 불가 	<ul style="list-style-type: none"> - 공급자 다수 - 수요자의 선호에 따라 결정
계약	<ul style="list-style-type: none"> - 수의계약 	<ul style="list-style-type: none"> - 경쟁계약
중요성	<ul style="list-style-type: none"> - 신뢰성, 성능, 적기 소요 	<ul style="list-style-type: none"> - 가격
가격결정	<ul style="list-style-type: none"> - 총수요에 비례 - 요구된 성능에 의해 지배 - 수요감소에 따라 가격상승 	<ul style="list-style-type: none"> - 한계비용에 의해 결정 - 한계효용에 의해 결정 - 수요감소에 따라 가격하락
시장형태	<ul style="list-style-type: none"> - 시장진입/이탈 어려움 - 연도마다 불안정 - 국방예산에 의한 시장규모 결정 	<ul style="list-style-type: none"> - 시장진입/이탈용이 - 시장은 점진적으로 균형 - 시장규모는 수요에 의해 결정

출처: 이성우(2001), “국방사업관리교제”.

[표 11] 산업관점에서 본 일반산업과 방위산업과의 차이

구 분		일반산업	방위산업
투자	투자비 규모	시장원리의 적정투자	목표우위의 대규모 투자
	투자비 회수	회임기간 최소화	회임기간 장기화
	기술정보	단순화, 정밀도가 낮음	복잡화, 정밀도가 높음
	투자위험성	소요예측 판단으로 확률 낮음	무기체계 진부화 격심 등으로 높음
제품	목표	기업이윤 추구	성능 우위에 우선
	제조 결정	시장성에 의존	무기체계 의존
	신뢰성	수익성과 밀접한 관계	전투시 군 사기에 영향
	형 태	단 순	다양, 복잡
	정밀, 정확도	상대적으로 낮음	초고도
생산	단가	저가, 경제성	고가, 비 경제성
	연구기간	단기	장기
	노하우	업체기밀	국가기밀
	시설	단순, 한정	복잡, 무한
	물량	예측에 의한 계획생산	정부계획에 의한 수주생산
구매	납기	업체통제 (경제성에 영향)	정부통제(전력에 영향)
	구매자 선정	가능(수요자 다수)	불가(정부유일)
	가격	저가(시장성)	고가(정부예측)
	계약	경쟁계약	수의계약
과급효과		국가경제 윤택	기술집약산업 선도

출처: 강문성 외(2006), “방산 수출금융지원 개선 방안에 관한 연구”.

방위산업의 육성에 관한 정책적 인식은 크게 방산보호 육성론과 경제적 조달 우선론으로 구분할 수 있다. 먼저 방산보호 육성론은 외국산에 비해 비싸고 성능이 다소 미흡하더라도 국내 개발·생산한 무기를 사용해야 하고

이를 위해 국내의 방위산업 기반을 보호해야 한다는 주장이며, 경제적 조달 우선론은 경쟁과 시장의 힘에 의해 방위산업 기반의 이상적인 크기와 내용이 결정되도록 하고 정부에 의한 산업 기술적 고려는 배제해야 한다는 개념이다(이호석·남기현 2011).

이러한 각각의 인식의 차이에 따른 주장은 결국 국방고유의 목적에만 충실한 방위산업을 건설할 것인가? 아니면 효율적인 군사력 건설을 우선할 것인가로 정리할 수 있다.

국방고유의 목적에만 충실할 것을 주장하는 옹호론자들은 일본의 방위산업 사례를 예로 드는데 일본의 경우 국내생산 장비가 외국에서의 구매보다 2-4배 정도 비싸더라도 국내 방산을 통해 조달²했던 사실을 예로 들면서 일본의 현재 국방기술력 획득이 이러한 과정에서 발생되었다고 주장한다. 반면 효율적인 군사력 건설을 주장하는 입장에서는 방위산업을 국방의 효율적 조달 수단과 안보자산으로 인식할 것을 주장하는데, 이는 전통적으로 산업 또는 시장에 대한 정부의 개입을 부정하는 자유시장 옹호론자들의 일반적인 견해와 일치한다(Hartley, 1995).

이 두 가지의 정책적 인식의 차이는 방위산업이 가지고 있는 혁신체제의 특성과는 별개로 방위산업의 발전 또는 혁신을 위한 정책적 흐름을 판단할 수 있는 기준으로서의 역할을 하며 우리나라 방위산업 정책 역시 이러한 두 가지의 극단적 차이를 보이는 관점을 두고 정책결정 당시의 대내·외적 상

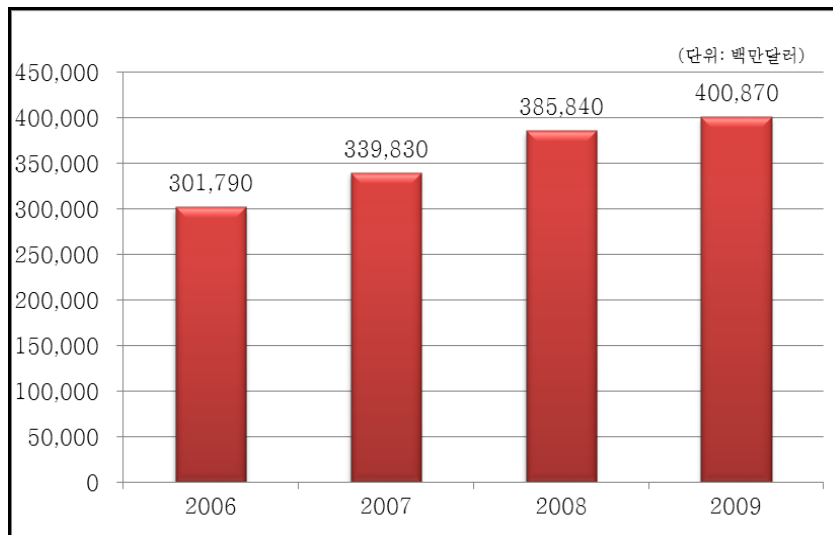
² 일본에서 개발/생산한 90형 전차는 동종의 유사한 성능의 M1A1에 비해 3배, 면허생산 한 장거리 지대공 패트리엇은 미국으로부터의 수입가에 2배가 비쌌음에도 불구하고 자국의 방위산업체를 통한 생산을 고수하였다

황을 고려하여 정책의 방향을 선택했다고 할 수 있다. 그러나 이러한 두 가지 관점은 어느 것이 옳다고 할 수 없는데 그것은 대상 무기체계 또는 분야의 성격과 상황에 따라 국가행위의 독립성과 자주적인 건설의 상대적인 중요성이 결정되기 때문이다(이호석·남기현, 2011).

방위산업의 정책적 인식에 있어 중요하게 생각해 봐야 할 것은 과연 방위산업 내 모든 분야에 대한 정책적 인식이 동일해야만 하는가? 이다. 산업혁신시스템 관점에서는 각 산업마다 각각 다른 기술체제를 가지고 있다. 따라서 산업적 특성에 따라 어떤 산업은 강력한 방산보호 육성론이 산업발전에 보다 효과적일 수 있으며, 반대로 다른 산업의 경우 경제조달 우선론을 통해서 산업적 발전을 이끌어 낼 수 도 있을 것이다.

세계 방위산업 시장의 변화를 간단히 살펴보면 다음과 같다. 세계 방위산업 시장은 냉전시기를 거치면서 급속하게 성장하였다. 그러나 20세기 후반 냉전의 종식과 함께 국제적으로 방산물자 수요의 격감은 세계 방위산업의 구조를 변화시켰다. 급속한 성장만을 추구하며 규모를 확장하던 각국의 정부 및 방위산업체는 냉전의 종식으로 인해 필연적으로 수요 감소에 대한 문제에 부딪치게 된다. 따라서 이러한 문제를 극복하기 위해 방위산업의 합병과 제휴, 방산물자 공동개발 및 생산, 국방 R&D 활성화와 첨단무기체계 개발 강화 등을 강력하게 추진하였다(Mussington, 1994). 이러한 과정에서 세계 최대의 방위산업체를 보유한 미국 역시 몇 개의 거대 방위산업체만이 살아남게 되었으며, 살아남은 방산업체들은 기술적 우월성을 바탕으로 지금까지도 세계 방위산업시장에서 독점적 지위를 누리고 있다.

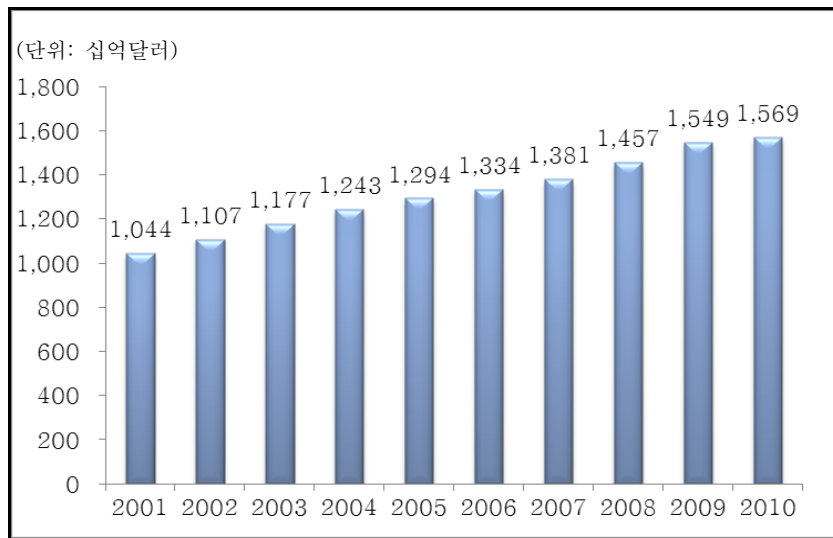
방위산업시장이 독점적 시장으로 재편되는 사이 냉전 이후 침체되었던 세계 방산 수출 시장은 자원, 종교 등 국지적인 새로운 분쟁의 증가로 인해 2000년 이후 성장 추세에 있다. 2009년 기준 세계 방위산업 매출은 약 4,008억 7,000만 달러 규모이며 이는 2006년 대비 약 33% 증가한 수치로서 세계 방위산업시장은 지속적인 증가추세에 있다.



[그림 1] 세계방산매출 추이

출처: SIPRI, SIPRI Year Book, 편집 재작성.

냉전시대를 거치면서 전세계 국방비는 감소였으나 2000년대 들어 다시 증가 추세에 있다. 2000년 이후 전세계 국방비는 연평균 약 4.22% 증가하였으며 지역별로는 미국을 포함한 아메리카 지역이 가장 높게 증가하였고, 그 외에는 동유럽 및 동아시아 순으로 높은 증가율을 보였다.



[그림 2] 세계국방예산 추이(2001-2010)

출처: SIPRI, SIPRI Year Book, 편집 재작성.

전 세계 무기수출현황을 보면 세계적인 경기침체의 영향이 있었던 2009년 이전까지 지속적으로 증가해 왔다. 2009년 기준 국가별 수출 거래 규모를 보면 미국이 226억 달러로 39%를 점유하여 1위를, 러시아가 104억 달러로 2위, 프랑스가 74억 달러로 3위를 차지했으며 독일, 이탈리아, 중국, 영국 등이 뒤를 이었다. 세계 5대 채래식 무기 수출국은 미국, 러시아, 독일, 프랑스와 영국으로 상위 5개국의 시장 점유율은 76%이다.

[표 12] 국가별 무기수출현황

(단위: 백만달러, %)

구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	‘09점유율	합계
미국	12,914	14,447	12,670	12,773	15,955	24,387	37,186	22,610	39.31	152,942
러시아	5,600	4,300	8,200	8,200	14,700	10,600	5,400	10,400	18.08	67,400
프랑스	600	2,800	2,900	5,900	7,700	2,000	3,100	7,400	12.87	32,400
영국	800	3,000	4,200	2,900	4,200	9,800	200	1,500	2.61	26,600
중국	400	600	1,000	2,900	1,500	2,400	2,100	1,700	2.96	12,600
독일	1,100	700	4,000	2,000	1,600	1,900	3,100	3,700	6.43	18,100
이탈리아	400	600	400	1,500	1,200	1,300	3,700	2,700	4.69	11,800
기타유럽	4,500	2,200	5,400	7,600	5,900	5,300	4,100	4,500	7.82	39,500
기타	2,100	1,900	3,300	1,800	3,400	2,300	2,500	3,000	5.22	20,300
합계	28,414	30,547	42,070	45,573	56,155	59,987	61,386	57,510	100	381,642

출처: Richard(2010), “Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2002-2009”.

우리나라 방위산업은 1970년대 기본병기의 리버스엔지니어링(reverse engineering)을 통한 모방기를 거쳐 1980년대 선진국 무기를 개량·개발하였던 성장기, 1990년대 고도 정밀무기를 독자적으로 개발하기 시작하였던 도약기를 거쳐 현재 세계 11위의 방위산업 기술을 보유하는 수준에 까지 이르렀다.

우리나라의 방위산업은 1970년대 초 닉스 독트린에 의해 미군이 일방적으로 철수하면서 자주국방력 확보에 대한 필요성이 대두 되면서부터이다. 이

에 따라 정부는 국방획득관리제도를 최초로 제정하여 본격적인 획득 업무를 추진하였으며 획득업무의 일환으로 실시된 전력증강 사업이 바로 1974년부터 1992년까지 추진된 율곡사업이다.

율곡사업은 총 3차에 걸쳐 진행되었는데 먼저 제 1차 율곡사업은 군 현대화에 초점을 맞춰 진행되었다. 1차 율곡사업은 1974년부터 1982년까지 현대화 무기는 해외구매에 의존하면서 방위산업기반을 조성하여 M-16 소총, M-60 기관총 등 소화기와 UH-1H, AH-1J, 500MD 등 헬기와 한국형 구축함과 고속정, F-4 및 F-5 전투기 등의 전력을 증강하였다. 2차 율곡사업은 1982년부터 1986년까지의 기간 중 기술도입생산 및 연구개발로 방위산업을 활성화 하여 한국형 88전차, 155mm 자주포, 초계 전투함, 제공호 등의 전력을 증강하였다. 3차 율곡사업은 1987년부터 1992년까지의 기간 중 첨단산업을 육성하고 통합전력발휘 차원의 전력을 확보하기 위하여 잠수함, KDX 구축함, F-16 전투기 등의 전력을 증강하였다(이경제, 2006). 이와 같이 3차에 걸친 율곡사업에 22조 2,554억 원을 투입한 결과 전력증강 측면에서는 기본 재래식 병기 위주에서 기능별 핵심장비, 고도정밀무기로 무기체계의 질적 향상을 가져왔으며, 모방개발에서 국내연구개발, 기술도입생산 형태로 발전하는 성과를 가져왔다.

율곡사업과 같은 획득사업을 뒷받침하고 국내 방위산업을 보호육성하기 위해 정부는 1973년 방위산업에 관한 특별조치법을 제정하였다. 방위산업특별 조치법에는 방위산업의 기본 육성계획을 포함한 원가보상제도 등의 계약특례 제도 등이 포함되었다. 방위산업 보호육성 정책의 결과 우리나라는 자

주포, 전차, 장갑차 등 지상장비의 일부 핵심기술을 제외하고는 대부분의 장비를 국내에서 연구개발 할 수 있게 되었다. 또한 함정 및 잠수함의 경우 플랫폼은 국내에서 연구개발이 가능하게 되는 수준에 까지 이르게 되었고, 항공기의 경우에는 최근 T-50 과 같은 고등훈련기를 연구개발하여 수출까지 이르게 되었다. 그러나 여전히 주요 무기체계는 해외에서 구매하고 있는 점은 우리 국방기술의 한계라 할 수 있다. [표 13]은 역대 군사력 건설사업과 이를 뒷받침하기 위한 방위산업에 대한 정책 기조의 시대별 흐름이다. 표에서 알 수 있듯이 1970년대 방위산업의 육성시기를 제외한 나머지 시기에는 조기전력화가 방위산업 정책의 기조로 포함되어 있음을 알 수 있다. 이러한 조기전력화의 정책기조는 첨단무기체계의 개발역량이 부족한 우리 방위산업에게 있어서는 해외첨단무기체계와의 경쟁에서 계속 뒤쳐질 수 밖에 없는 결과로 작용했다.

우리나라 방위산업 발전과정을 혁신시스템 관점에서 보면 방위산업의 기술적 다양성이 존재하지 않았던 육성초기에는 산업적 특성에 대한 구분 없이 국가혁신시스템 관점에서만 방위산업이 다루어져 왔다고 할 수 있다. 그러나 기술역량이 강화되고 보다 다양한 기술기반을 가진 방산제품이 생산되면서 과거와는 달리 서로 상이한 기술체제를 가진 방위산업들이 등장하고 발전해 왔음을 알 수 있다.

[표 13] 역대 군사력 건설사업과 방위산업 정책기조

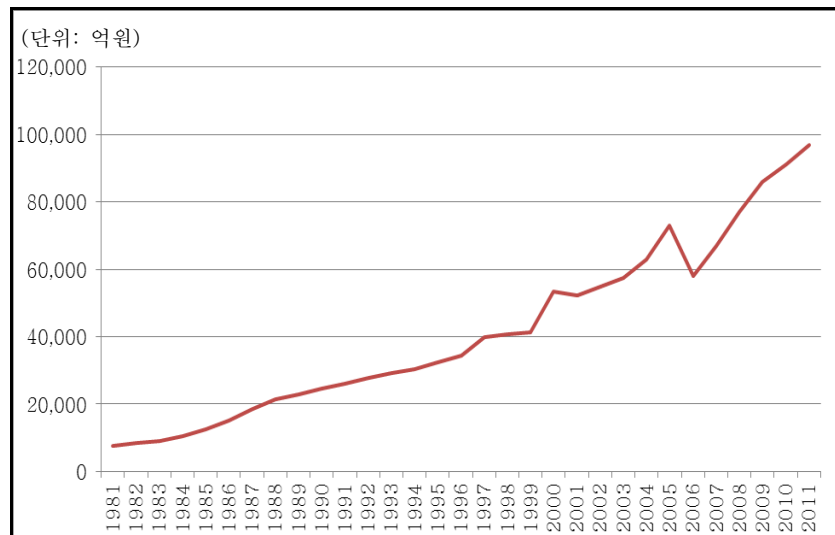
구 분	군사력건설사업 (안보정책 방향)	전력사업방향 (전력증강 목표)	방위산업 정책 기조
1974-1981 (박정희정부)	1차 율곡사업 (자주국방)	최소 방위전력 확보	적극적 방산육성
1982-1986 (전두환정부)	2차 율곡사업	방위력 보완	조기전력화+방산육성
1987-1996 (노태우·김영삼정부)	3차 율곡사업 (한미동맹 협력안보)	방위전력 완비 미래형 전력 기반조성	조기전력화+방산유지
1997-2002 (김대중정부)	4차 전력증강사업	미래형 전력기반 확충	조기전력화+방산유지
2003-2007 (노무현정부)	방위력개선사업 (협력적 자주국방)	자주적 전쟁억제능력 확보	조기전력화+방산활성화
2008~ (이명박정부)	방위력개선사업	방산수출 활성화 신경제성장 동력화	조기전력화+방산활성화

출처: 문종열(2008), “방위산업 재정지출 성과와 과제”.

아직까지 수출로 인한 성과가 미약한 우리나라 방위산업의 현실에 있어 방위력 개선비의 변화는 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다. 앞서도 언급했듯이 방위산업은 쌍방독과점적 시장구조를 가지고 있다. 특히, 지금까지 내수위주의 판매에 주력한 우리나라의 방위산업 시장의 경우 정부의 전력보강 및 유지계획에 따른 예산에 따라 경영실적이 좌우되었다고 할 수 있다.

1980년 방위력 개선비의 변화를 살펴보면 [그림 3]에서와 같이 대체적으로 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있으며, 1981년 약 7천500억 수준이었던 방위력 개선비는 2011년도 약 9조 7천억원으로 규모면에서 약 13배 증

가하였다. 또한 증가율 측면에서도 지난 30년간 연평균 약 9.3%의 증가율을 보여왔다.



[그림 3] 1981-2011 방위력 개선비(전력투자비) 예산 추세

출처: 국방부.

방위력 개선사업의 투자는 1974년부터 5개년 계획에 의해 시행되어 왔다. 1974년부터 2005년까지 시행된 방위력 개선사업의 투자비와 사업추진 목표를 살펴보면 [표 14]와 같으며 기간 중 투자된 총 예산은 81조 1,771억 원이다.

[표 14] 방위력개선사업 투자비 및 목표(1974-2005)

구 분	투자비	목표
1차(74~81)	2조, 8,347억원	최소 방위전력 확보
2차(82~86)	5조 5,757억원	방위전력 보완
3차(87~96)	26조 4,867억원	방위전력완비와 미래형 전력 기반조성
4차(97~05)	46조 2,800억원	현존 및 미래위협 대비
합계	81조 1,771억원	-

출처: 국방부.

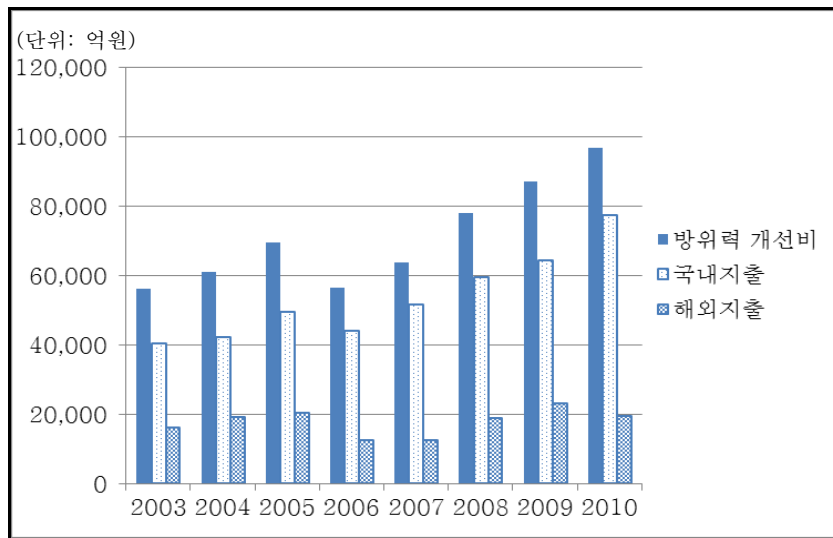
2003~2010년 까지의 집행된 방위력 개선비를 해외지출과 국내지출³로 구분하면 [표 15]와 같다. 기간 중 해외지출은 연평균 1조 6,436억원이며, 전체 방위력 개선비에서 평균 25%를 차지하였다.

[표 15] 방위력 개선비와 해외지출 : 2003~2010 (단위: 억원, %)

구 분	방위력 개선비	국내지출	해외지출	해외지출비율
2003	56,269	40,171	16,098	29
2004	60,964	41,958	19,006	31
2005	69,335	49,235	20,100	29
2006	56,471	44,003	12,468	22
2007	63,734	51,389	12,345	19
2008	77,931	59,329	18,602	24
2009	87,140	64,292	22,848	26
2010	96,613	77,297	19,316	20

출처: 국회예산정책처(2009), “통계로 보는 재정 2009” 및 국방부.

³ 국내지출에는 국내 전력획득 및 국방연구개발 그리고 시설비 및 사업관리비 방위사업 종합 지원비와 기타 비용이 포함된 예산임.



[그림 4] 방위력개선비와 해외지출

출처: 국방부.

이와 같은 방위력 개선비에서 해외지출 수준은 [표 16]에서 알 수 있듯이 주변국인 일본과 비교 시 두 배 이상 높은 수치이다. 이렇게 높은 해외지출 비율은 결국 우리나라 방위산업의 R&D투자 의욕을 저하시키고 경쟁력을 약화시키는 악순환이 반복되는 결과로 이어지게 되었다.

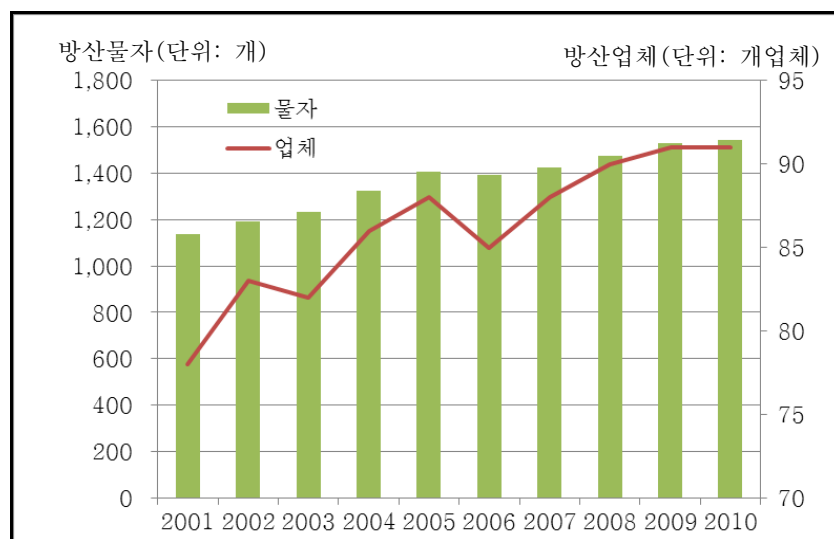
[표 16] 한국과 일본의 방위력 개선비 중 해외지출 비율 비교

한국 (%)	29	31	29	22	19	24
일본 (%)	8.7	8.1	12.4	11.6	11.3	11.5

주: 한국은 2003~2008, 일본은 2000~2005년 자료임.

출처 : 문종열(2008), “방위산업 재정지출 성과와 과제”.

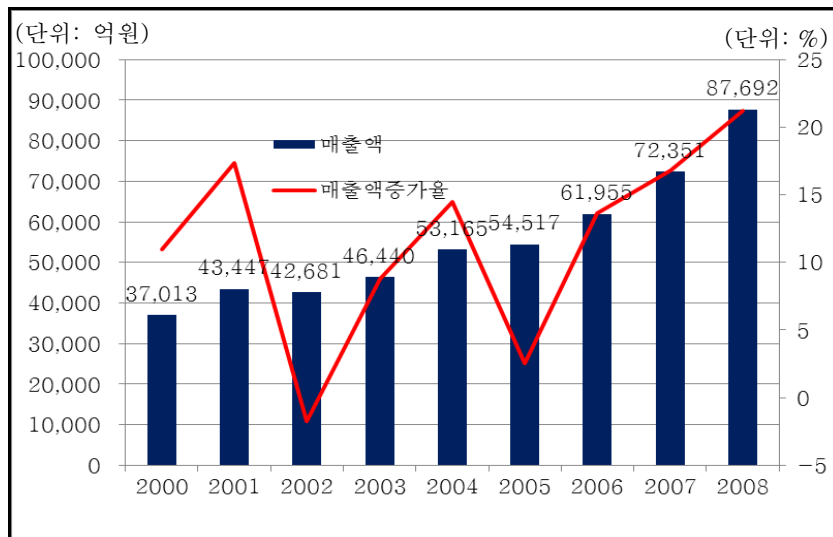
방위산업체는 ‘방산물자’를 생산하는 업체로서 방위사업법 제 35조의해 지정된 업체를 말한다. 방위산업체로 지정 받기 위해서는 먼저 방위산업체로 지정 받기 원하는 업체가 지식경제부로 방위산업체 지정요청을 하고 이러한 요청에 따라 지식경제부는 방위사업청에 방위산업체 지정 협의를 요청하게 된다. 이 후 방위사업청이 방위산업체에 대한 시설 및 인력 보안측정 등을 거쳐 최종적으로 지식경제부를 통해 방위산업체로 지정되게 된다. 현재 우리나라의 방위산업체 수는 2010년 기준 91개이며 방위산업물자는 1,543개가 지정되어 있다. 지정된 방위산업체는 모두 동일한 기술체제에 기반하고 있지는 않으며 세부적으로 8개의 유형으로 구분된다.



[그림 5] 방위산업체 및 방산물자 현황

출처: 방위사업청.

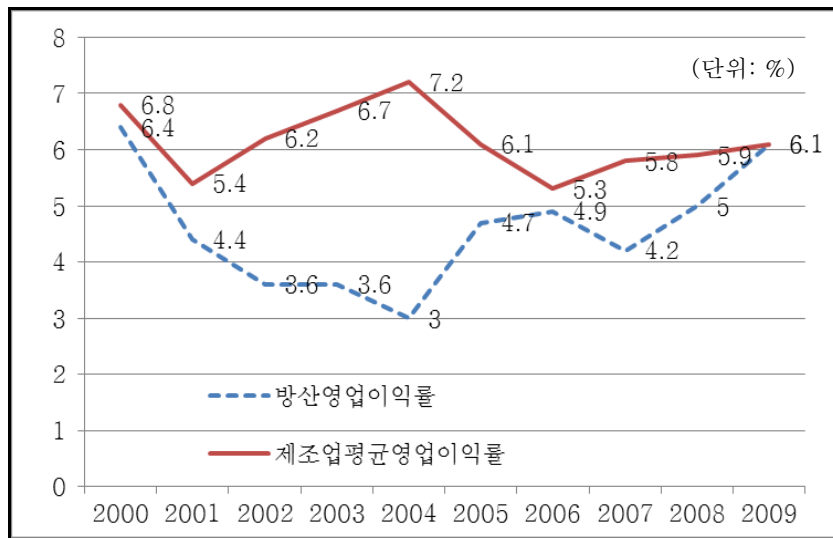
방위산업체의 매출액은 2008년 기준 약 8조 7천 7백억이며 2000년부터 2008년 기간 중 연평균 증가율은 약 11%이다. [그림 6]에서 알 수 있듯이 방위산업체의 매출액은 비교적 지속적으로 증가 추세에 있다. 하지만 매출액 증가율은 연도간 변동폭이 상당히 크게 나타났는데 이러한 매출액 증가율의 변동은 방위산업체로 하여금 안정적인 경영에 저해요소로 작용하였다.



[그림 6] 방위산업체 매출액 및 매출액 증가율(2000-2009)

출처: 방위사업청.

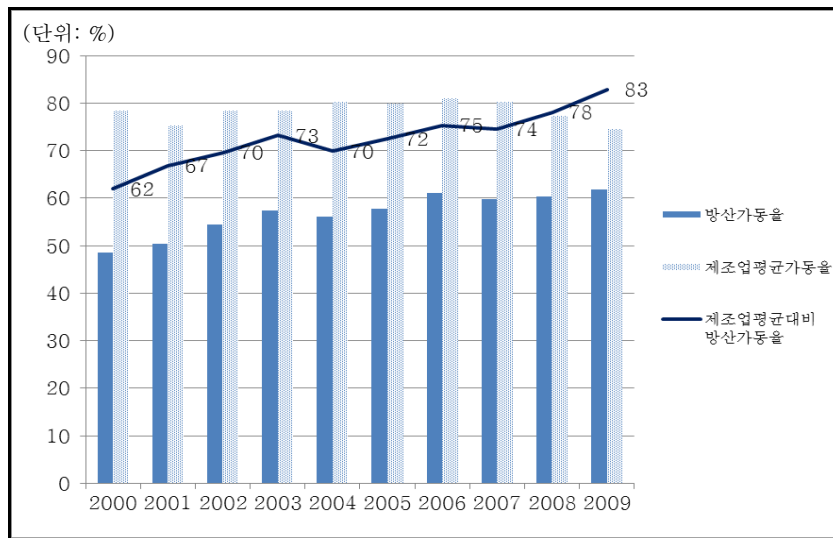
[그림 6]과 동일한 기간 중 방위산업체의 영업이익률 및 제조업 평균과의 영업이익률의 비교는 [그림 7]과 같다. 방위산업체의 영업이익률은 2000년부터 2004년까지 지속적으로 하락하다 2005년 이후 증가 추세에 있다. 그러나 제조업평균의 영업이익률과 비교 시 2009년을 제외한 전 기간에서 낮은 수준을 보이고 있다.



[그림 7] 방위산업체 및 제조업 평균 영업이익률 비교

출처: 방위사업청.

다음은 방위산업체와 제조업평균 가동율의 비교이다. 현재 방위산업체가 갖고 있는 가장 큰 문제점 중 하나가 바로 가동율 부분인데 [그림 8]에서 나타나듯이 방위산업체의 가동율은 제조업평균 가동율의 약 72% 수준이다. 이러한 낮은 가동율은 기존 재래식 무기체계가 양산·배치 완료되면서 추가적인 수요의 제한으로 발생한 현상이다.



[그림 8] 방위산업체와 제조업 평균 가동율 비교

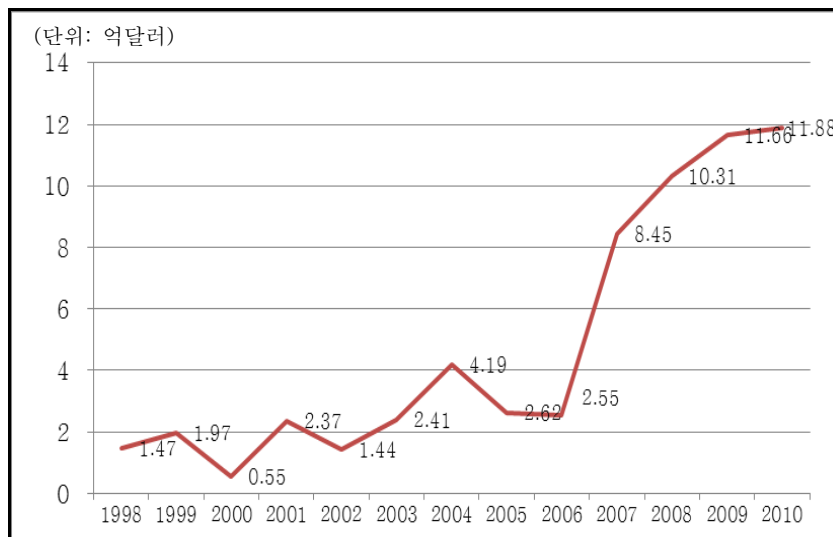
출처: 방위사업청.

방산물자의 수출은 구매국의 국방예산뿐 아니라 정치 및 경제적인 부분에 의해 많은 영향을 받는다는 특성을 가지고 있으며 또한 수출의 성사까지 장기간이 소요된다. 우리 방산물자 수출액은 2010년 기준 약 11억 8천8백만 달러이고 함정분야가 이중 30%인 3억 6천 5천백만달러를 차지하고 있으며 뒤를 이어 탄약 그리고 항공분야 순이다.

방산수출은 2006년까지 낮은 수준의 성장세를 이어오다 2007년부터 급격한 성장세를 보이고 있다. 이러한 성장은 터키 및 필리핀 등지에 수출 등에 기인하고 있으며, 이와 같은 수출액의 증가는 방위사업청 개청 이후 시행된 방산수출 촉진정책의 가시적 성과라고 할 수 있다(문종열, 2008).

방산수출 현황에서도 방위산업 내 각 분야별 성과달성에 차이가 존재하고 있음을 알 수 있다. 또한 방위사업청 개청 이후 시행된 방산수출 촉진정책

역시 전분야에서 동일한 효과를 나타내지는 않고 있다는 점은 방위산업 내 각 분야별 특성에 따른 정책 시행의 필요성을 보여주는 단적인 사례라 할 수 있다.



[그림 9] 연도별 방산물자 수출액

출처: 방위사업청.

방위산업의 경쟁력 약화의 원인으로 꼽히는 전문화·계열화 제도는 2009년 1월 전면 폐지되었다. 전문화·계열화 제도는 방위산업에 있어 군수물자의 안정적 확보 및 업체간 중복투자와 과당경쟁을 예방하기 위해 운용되어 온 제도로써 1983년 시작되었다. 구체적으로 살펴보면 전문화·계열화 제도는 방산물자를 분야, 무기체계, 물품 등으로 분류하여 특정 전문방산업체가 독점적으로 생산할 수 있는 지위를 보장해 주는 제도이다. 이러한 전문화·계열화 제도는 제도 시행초기에는 국가자원의 효율적 활용이라는 측면에서

기여하였다는 평가를 받고 있지만 업체간 경쟁의 저하로 인해 기술개발 투자까지 위축되어 방산업체 경쟁력을 하락시켜온 주요 원인으로 꼽히고 있다.

2009년 1월 폐지되기 전까지 총 29개의 전문화 업체와 48개의 계열화 업체가 지정되어 운영되어져 왔으며 전문화 및 계열화의 차이는 전문화는 완성장비를 분류대상으로 하고 있는데 비해, 계열화는 부품을 분류대상으로 하고 있다(방위산업에 관한 특별조치법,1983).

[표 17] 방위산업 전문화 계열화 현황

분 야	전문화(29)	계열화(48)
화력	4	4
탄약	3	6
기동	3	11
항공	1	11
함정	4	5
통신	2	—
정보전자	3	1
지휘통제	2	—
광학	2	—
유도	2	9
화생방	3	1

출처 : 방위사업청.

국방연구개발은 크게 국내 연구개발과 국제협력 연구개발로 구분한다. 국내연구개발은 국방과학연구소 주도의 정부중심 연구개발과 정부가 개발비를 부담하고 방산업체에서 주도적으로 연구·개발하는 정부관리 업체주도 연구개발 그리고 업체가 개발비를 부담하는 자체 연구개발로 구분한다(최석철·

이만희, 2004).

우리나라의 국방연구개발은 [표 18]과 같이 주로 정부주도의 연구개발 위주로 이루어져 왔으며 연구개발 역시 핵심기술 보다는 주로 체계개발사업의 비중이 높게 수행되어 왔다.

[표 18] 체계개발 주도형태 현황

(단위: 건, 억원)

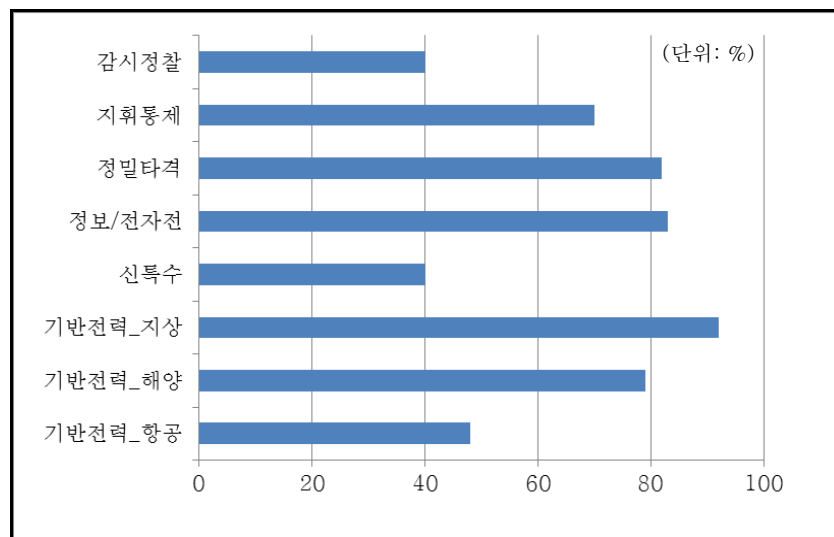
연 도	정부주도		업체주도	
	사업수	예산	사업수	예산
2003	28	1,398	7	1,426
2004	26	2,998	11	2,463
2005	26	4,094	9	3,526
2006	27	4,341	5	3,121
2007	27	3,987	4	1,117
2008	20	3,651	2	560

출처 : 황치복, 이상경(2004), “연구개발 활성화를 위한 새로운 대안”.

국방과학기술은 1970년대 기본병기에 대한 국산화 등을 통해 기반을 조성하였으며, 1990년대에는 정밀무기를 개발하는 수준까지 이른것으로 평가받고 있으며 현재 기술수준은 선진국과 비교시 70~80% 수준으로 평가되고 있다. 그러나 첨단기술이 필요한 항공 및 감시 정찰 분야는 여전히 50% 이하 수준의 기술력을 보유하고 있는것으로 평가되어 지고 있고, 반면 지상 분야 등 일부 재래식 무기의 기술수준은 선진국의 90%에 이르는 다소 불균형한 상태의 기술수준을 보유하고 있다. 또한 일부 첨단기술이 필요한 핵심구성품 및 재료는 여전히 해외 의존도가 높은 실정이다. 즉, 방위산업 내 각

분야별 기술수준 및 특성을 고려한 발전전략이 요구되는 상황이라 할 수 있다.

국방과학기술의 불균형은 무기체계의 수출입현황을 통해서도 여실히 나타나는데 2001~2005년 우리나라의 무기수입액은 세계 9위인 반면 무기수출은 17위에 머물고 있다.



[그림 10] 분야별 국방과학 수준

출처 : 국방부 (2007), “국방과학기술 정책서” .

3.2 방위산업 혁신시스템의 분석

지금까지 설명한 방위산업의 산업적 특징을 통해 방위산업 혁신시스템의 특성을 구성 요소 별로 분석해 보면 다음과 같다.

기술체제 측면에서 방위산업 혁신시스템의 특성을 보면 먼저 기회성 측면에서는 방산제품을 구성하는 각 모듈별 기회성은 높은편이나 통합시스템 측면에서는 낮은 기회성을 갖고 있는 구조라 할 수 있다. 이는 방위산업에서 생산하는 방산제품이 독립적인 역할보다는 통상 전투체계 및 무장체계 안에서 통합되어 운용되는 경향이 강하기 때문으로 따라서 대체로 모듈별 성능보다는 각 모듈을 통합한 전체시스템 측면에서 성능의 중요성이 보다 크게 요구되는 특성을 가지고 있기 때문이다. 즉 방산제품은 다양한 구성품들의 복합체로서, 각각의 기능의 중요성과 더불어 각 기능의 조합측면에서도 높은 안정성 및 성능이 요구되는 특성을 가지고 있다.

이와 같은 특성은 기술적 수준에 있어서도 매우 높은 수준을 요구하는데 대체로 방위산업의 기술적 요구수준은 매우 높은 편으로 생산되는 제품의 기술적 복잡성 또한 높다고 할 수 있다. 기술적 복잡성이 높은 또 다른 이유는 방위산업으로 생산되는 제품의 성능이 생명 및 안전과 직결되는 특성에 기인한 점도 있다. 일반산업에서 생산되는 제품과 달리 방산제품은 사용자 본인 및 타인의 안전에도 심각한 위협을 줄 수 있는 가능성이 높은 제품들이 많다. 따라서 높은 복잡성과 기술적 요구수준은 타 산업에 비해 R&D 투자가 혁신성으로 이어지는 시점까지 장기간이 요구되며 이로 인해 방위산업 체로 하여금 신규 R&D 투자를 망설이게 하는 요인으로 작용한다. 그러나

R&D 투자를 제약하는 요인들이 많음에도 불구하고 기술습득에 있어 제한적인 지식 및 기술의 원천은 높은 강도의 내부 R&D 투자를 요구한다.

다음으로 전유성 측면에서 방위산업은 매우 높은 전유성을 가진 산업이라 할 수 있다. 이는 보안상의 이유로 기술에 대한 판매 및 이전 등이 제한적이기 때문에 모방을 위한 접근자체가 쉽지 않기 때문으로 풀이된다. 그러나 높은 전유성에도 불구하고 수요가 제한적이고 활용측면에서도 혁신의 결과를 타 분야로 활용하는 것 역시 용이하지 않기 때문에 혁신성과를 통한 이윤창출 역시 제한적으로만 발생하는 한계 또한 가지고 있다.

끝으로 누적성 측면에서도 전유성과 동일하게 높다고 할 수 있다. 이는 방산제품의 특성상 신뢰도 및 안정성이 가장 우선시 되기 때문이며 따라서 안정성이 확보된 기존 기술에 기반하여 혁신이 발생할 가능성이 높기 때문이다.

방위산업 내 주요 혁신주체는 대부분의 국가에서와 동일하게 정부(국방부)와 국방과학연구소, 국내·외 방위산업체로 구성되며, 특히 혁신주체 중에서도 정부 및 국방과학연구소의 역할 및 비중이 상대적으로 높다고 할 수 있다. 타 산업과 비교 시 비교적 혁신주체의 참여가 제한되어 있는데 이는 제도적으로 방위산업체로 지정 받기 위한 별도의 절차 및 심사과정이 요구되며, 따라서 혁신주체로서 참여 자체에 진입장벽이 존재하기 때문이다. 또한 특이한 점은 타 산업에서 해외 연구소 및 대학이 혁신시스템에서 중요한 지식습득 기회를 제공하는 역할을 담당하고 있는 것에 비해 방위산업에서는 그 역할이 미미하다는 점이다. 이러한 현상의 원인은 방산제품이 완제품 위

주로 편중되어 있기 때문에 대학 및 연구기관에서 수행하는 기초연구에 대한 역할이 부각되지 않는다는 점과 방산제품의 특성상 요구되는 보안 수준이 높기 때문에 참여의 폭을 최대한 제한하려는 경향이 강한 것도 원인일 수 있다. 하지만 현재까지도 핵심부품 및 소재에 대한 대외의존도가 높다는 점에서 원천기술의 연구를 담당하고 있는 대학 및 국방과학연구기관 외에 타 연구기관의 혁신주체로서 참여가 요구된다고 할 수 있다. 다양한 혁신주체의 참여는 현재 다소 제한적인 지식의 원천을 갖는 방위산업의 지식 및 기술의 원천을 보다 폭넓게 할 수 있을 것이다.

혁신주체에 있어 방위산업이 갖는 또 다른 특징은 해외방산업체의 중요도가 높다는 점이다. 2008-2010년간 해외업체 외주 비율은 평균 34.8%에 이르고 있으며 주로 핵심기술분야에 대한 해외업체 외주 비율이 높다. 해외방산업체에 대한 높은 의존도는 첨단장비에 대한 국산화율에서도 나타나는데 2010년 기준 첨단장비 전체의 국산화율은 78% 수준으로 20% 이상을 해외에 의존하고 있으며, 특히 항공분야는 58.8%수준으로 해외 방산업체에 대한 기술 의존도가 매우 높다고 할 수 있다. 물론 해외방산업체에 대한 의존도가 높다고 해서 무조건 방위산업 혁신시스템에 문제가 있다고 단정지을 수는 없지만 일반적으로 방위산업에 있어서는 기술협력을 통한 자연스러운 기술이전의 효과가 타 분야에 비해 제한적 발생하며 철저한 통제 및 보안 속에서 기술협력이 이루어진다는 점에서 해외방산업체가 우리 방위산업혁신 역량을 향상 시키는 것에 대한 기여는 타 산업의 해외업체와의 협력에 비해 작은 편이라 할 수 있다.

방위산업 혁신시스템에서 네트워크는 불균형한 상태로서 주로 정부기관을 중심으로 한 단방향성을 갖고 있는 형태라 할 수 있다. 이는 방위산업 자체가 정부의 계획, 조정/통제에 의해 육성 발전해 왔으며, 대체로 정부주도하에 업체가 참여하는 형태를 갖기 때문이다. 또한 각 혁신주체간 역할이 분담되어 있어 네트워크를 통한 혁신이 제한적으로만 이루어질 수 밖에 없는 구조적 한계에 기인한다. 지금까지 방위산업에 있어 연구개발은 국방과학연구소, 생산 및 양산은 방산업체, 정비는 군이 담당하고 있어 상호 네트워크를 통한 혁신성과 창출에 한계가 있었다. 이러한 단방향성의 네트워크 관계는 각 혁신주체간 상호작용적 학습(interactive learning) 보다는 일방적 지도에 의한 학습의 경향이 보다 강하게 나타나게 되었으며 결국 방위산업 혁신시스템에서 각 혁신주체의 성장에도 불균형을 가지고 왔다. 방위산업 혁신시스템의 R&D 활동에 있어 공공부문의 중요한 혁신주체인 국방과학연구소가 비교적 지속적인 성장을 해오고 있는 것에 비해 민간부문인 방위산업의 성장세는 2000년 이후 둔화되고 있는 실정이다. 물론 상호 동등한 관계에서 네트워크가 발생하지 못하는 데는 국방연구개발에 있어 국방과학연구소를 제외한 타 혁신 주체들, 특히 방위산업체의 역량이 균등한 네트워크를 구성할 만한 수준이 되지 못하다는 것도 원인으로 작용한다. 국방과학기술 수준에 있어 방위산업체의 역량은 국방과학연구소의 80% 수준밖에 미치지 못하고 있으며, 핵심기술의 경우는 차이가 더욱 클 것으로 예상된다. 결국 이러한 혁신주체간 네트워크를 통한 소통의 문제는 방위사업 추진에 있어서의 정보 비대칭의 문제로 발전하여 효율적인 방위력 개선사업의 추진을 저해하고 있는 실

정이다. 따라서 정확한 분석 및 근거에 입각하지 못한 방위산업체의 역량 평가는 방산제품의 국산화 연구개발 시 목표와 실적간의 차이를 심화시키고 있다.

방위산업혁신시스템의 네트워크 있어 또 다른 특성으로는 폭넓은 네트워크를 통한 혁신 보다는 제한된 네트워크에서의 혁신을 선호하는 경향이 강하다는 것이며 이러한 이유는 기술에 대한 보안성 때문으로 일반산업에서 생산되는 제품의 경우 보안의 목적이 기업의 이윤에만 주로 관련되지만 방산제품의 경우 전쟁 및 전투의 승패와도 관련되는 중요한 요소이기 때문이다.

방위산업은 기본적으로 안보산업으로서의 특성을 가지고 있기 때문에 시장적 요인에 따라 영향을 받기 보다는 제도 및 정책과 같은 비시장적 요인에 의한 영향력이 상대적으로 크게 작용하는 산업이다. 따라서 정부의 방위산업 정책에 의한 영향력이 매우 강하게 작용하게 되는데 실제로 정부의 수요 및 조달정책에 따라 방위산업체의 매출이 결정되며 방산수출 또한 정부 통제하에서만 가능하다.

제도 및 환경과 관련한 또 다른 특성은 혁신시스템 관점에서 방위산업의 혁신을 자극하거나 유도할 만한 요인이 크지 않다는 점이다. 먼저 현재 국내 생산 방산제품의 소요는 거의 충족되었기 때문에 방위산업체의 매출에 영향을 미치는 수요의 확대가 현실적으로 어려우며 주로 정부주도 사업이 추진되기 때문에 혁신성과의 소유가 정부로 귀속되어 혁신을 통한 독점적 이윤의 창출 역시 제한적이다. 또한 방산업체 이윤제도 등 제도가 가지는 특성상

혁신을 통한 가격경쟁력의 확보의 중요성이 민수산업에 비해 약하다는 특성을 가지고 있다.

외부환경적 여건으로는 대내적 영향 보다는 대외정세가 혁신시스템에 상당한 영향을 미치고 있는데 대외정세 영향에 따라 도입시기, 소요량 및 작전 운용성능(ROC) 등이 변동을 가져오게 되며 이는 방산업체에 있어서는 무엇보다도 큰 불확실성이 아닐 수 없다. 실제로 2011년 기준 총 사업비 30% 이상 변동사업 건수는 총 31건으로 사업의 잦은 변동은 방산업체로 하여금 혁신을 위한 R&D 투자를 망설이게 하는 요인으로 작용하고 있다.

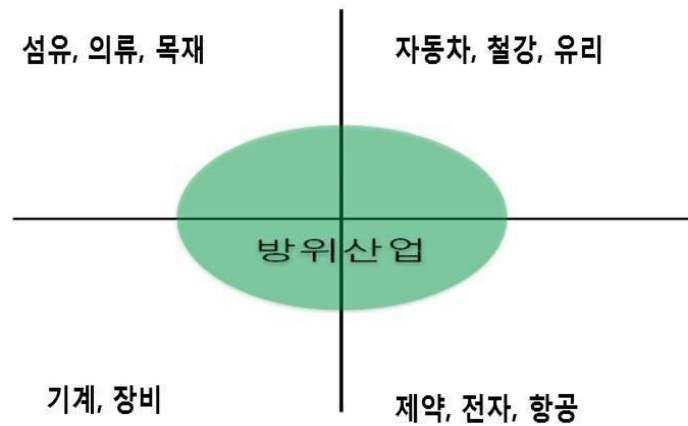
끝으로 방산제품에 대한 혁신성과의 판정은 결국 실전과 같은 사용자의 사용과정을 통해 검증된 후 새로운 혁신에 대한 수요가 발생하기 때문에 대외정세의 영향이 혁신의 창출 뿐 아니라 확산에도 크게 작용한다고 할 수 있다.

[표 19] 방위산업 혁신시스템의 구성요소 및 특성

구 분	특 성
지식및기술	<ul style="list-style-type: none"> - 기회성 측면에서 각 모듈별 기회성은 높은편이나 통합시스템 측면에서는 낮은 기회성을 갖고 있는 구조 - 모듈별 성능보다 통합적 측면에서 성능의 중요성이 보다 크게 요구 - 기술적 요구수준은 대체적으로 매우 높은 편으로 생산되는 제품의 기술적 복잡성 또한 높음 - 높은 전유성 및 누적성을 보유
혁신주체	<ul style="list-style-type: none"> - 정부(국방부), 국방과학연구기관, 방위산업체, 타국정부, 해외방위산업체 - 일반적인 산업에서 다양한 지식의 원천을 활용하는 것에 비해 방위산업의 지식의 원천은 다소 제한적 - 해외방산업체의 중요도가 높음
네트워크	<ul style="list-style-type: none"> - 네트워크는 불균형한 상태로서 주로 정부기관을 중심으로 한 단방향성을 갖고 있는 형태 - 대학 및 해외연구기관의 참여 제한 - 기술에 대한 보안성 때문에 폭넓은 네트워크를 통한 혁신 보다는 제한된 네트워크에서의 혁신을 선호
제도및환경	<ul style="list-style-type: none"> - 비시장적 요인의 영향력이 강함 - 정부의 방위산업 정책에 의한 영향력이 매우 강하게 작용 - 혁신시스템 관점에서 방위산업의 혁신을 자극하거나 유도할 만한 요인 부재 - 대외정세에 민감

3.3 방위산업 내 세부혁신시스템 분석

앞선 방위산업 혁신시스템의 특성에 대한 분석을 포함하여 지금까지 방위산업과 관련된 대부분의 연구와 정책들은 대체로 방위산업을 하나의 연구대상 또는 정책대상으로 보고 방위산업을 다루어왔다. 따라서 방위산업에 대한 인식 및 문제에 대한 해결 방향 역시 주로 통합적인 관점에서 접근하여왔으며 실제 정책 처방 역시 통합적인 관점에 기반하여 계획되고 집행되어 왔다. 그러나 방위산업을 자세히 살펴보면 실제로 방위산업은 국가안보와 관련된 ‘방위’라는 개념의 테두리에서는 하나의 산업으로 분류가 가능하지만 이를 제외할 경우에는 매우 다양한 산업들이 통합되어 있는 성격을 지니고 있으며 방위사업청의 정의-표준산업분류 상으로는 기계, 금속·비금속, 전기, 화학 등 제조업의 전분야를 포함-에서도 이를 명시하고 있다. 따라서 통합적 관점에서만 방위산업을 바라볼 경우 산업혁신시스템 이론에서 정의된 ‘산업’의 정의-공통된 지식기반을 가지며, 주어진 수요를 만족시키는 활동들의 집합-에서 무엇보다도 중요한 공통된 지식기반의 조건을 충족하지 못한다. 뿐만 아니라 방위산업 내 각각의 분야는 각기 다른 특성을 지닌 혁신주체와 이들 혁신주체들 간의 네트워크를 구성하고 있는데 이러한 방위산업의 산업적 위치를 보면 [그림 11]과 같다.



[그림 11] 방위산업의 산업적 위치

[그림 11]을 통해 알 수 있듯이 방위산업을 통합적 관점에서 다룬다면 각 각의 분야가 가지고 있는 특성을 정확하게 반영하기 어려울 뿐 아니라 각 분야의 균형 있는 발전을 가져오지 못 할 가능성이 높다. 그럼에도 불구하고 지금까지 방위산업을 방위산업을 구성하고 있는 각 분야별 혁신시스템의 특성을 반영한 정책보다는 주로 통합적 관점에서 정책이 수립되고 집행되어 왔다. 이러한 통합적 관점에서의 방위산업 발전전략은 앞서도 언급했듯이 방위산업 내 각 분야별 차이를 반영하지 못하였고, 그로 인해 현재 방위산업을 구성하고 있는 각 분야의 발전수준 및 기술수준에는 불균형이 존재하게 되었으며, 따라서 방위산업의 발전을 위해서는 각각의 혁신시스템 특성에 따른 정책 및 발전전략이 필요한 것이다. 이에 본 연구에서는 산업혁신시스템 관점에서 방위산업을 구성하고 있는 각 분야를 그룹화 한 뒤 재 분류하고 각각의 혁신시스템 특성을 규명하였다.

산업혁신시스템관점에서 보면 방위산업 내에는 각기 다른 기술체제와 특

성을 가진 산업들이 존재하며 이러한 각기 다른 특성의 산업들은 각각 다른 혁신시스템을 가지고 작동한다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 산업혁신시스템 관점에서 방위산업 내 존재하는 각 분야를 다양한 분류기준에 따라 재 분류하고 그룹화 한 뒤 최종적으로는 Pavitt(1984)의 연구결과에 따라 분류하고 여기에 각각의 분야가 가지는 방위산업적 특성을 추가 하였다.

방위산업의 각 분야를 각각의 특성에 따라 그룹화하기 위해 혁신패턴에 따른 분류방법(Pavitt, 1984; Tidd & Pavitt, 1997)과 기술집약도에 따른 OECD 산업분류 그리고 기술체제(Malerba & Orsengio, 1996) 따른 분류, 끝으로 우리나라 및 미국의 방위산업에서 적용중인 분류체계를 비교하였다.

첫 번째로 Pavitt(1984)은 산업을 4가지 유형-공급자주도형, 규모집약형, 전문공급자형 및 과학기반형-으로 구분하고 각 산업 유형에 따라 혁신패턴의 차이를 규명하였다. Pavitt(1984)은 각 산업의 혁신패턴의 차이를 기술체제의 결정요인과 기술체제, 기타산업별 특성 등의 측면에서 살펴보았는데, 세부적으로 기술축적의 원천, 사용자 유형, 전유수단, 기술체제의 목표, 공정 및 제품혁신 비중, 기업규모 및 기술적 다각화의 방향에 따라 산업을 분류하였다. 이 후 Tidd & Pavitt(1997)은 4가지 산업유형에 정보집약형 산업을 추가 하여 산업에 따른 기술혁신의 특성을 분류하였다.

[표 20] Pavitt 과 Tidd & Pavitt의 분류

분 야	분류기준	주요산업
공급자 지배형 산업	<ul style="list-style-type: none"> - 기술축적의 원천 - 사용자 유형 - 전유수단 - 기술궤적의 목표 - 공정 및 제품혁신 비중 - 기업규모 - 기술적 다각화의 방향 	섬유, 의류, 가죽, 인쇄, 출판, 목재
규모집약형 산업		자동차, 철강, 유리, 시멘트, 기계, 장비
전문공급자 산업		
과학기반 산업		제약, 전자
정보집약형 산업		정보통신, 금융, 출판

두 번째 산업분류기준은 기술집약도에 따른 OECD 산업분류로서 기술집약도의 지표로는 R&D 집약도를 사용하여 산업을 분류하였다. OECD는 R&D 집약도에 따라 기술수준을 4단계-고기술산업, 중상기술산업, 중하기술산업, 저기술산업-로 구분하였다. 이러한 OECD의 산업분류는 기술개발 측면뿐 아니라 기술확산 측면까지도 고려하여 산업의 기술집약도를 측정하고 분류하였다는 특징을 지닌다. OECD 산업분류와 Pavitt(1984)과 Tidd & Pavitt(1997)의 분류를 비교해 보면 대체로 R&D 집약도가 높은 고기술산업과 과학기반형 산업에 속한 산업들이 유사하며, 저기술산업과 공급자지배형 산업에 속한 산업들이 유사한 특성을 가지고 있다.

[표 21] OECD 산업분류

분 야	분류기준	주요산업
고기술산업	R&D 집약도	의약품, 전자부품, 영상, 음향, 통신장비, 항공기·우주선 등
중상기술산업		자동차, 트레일러, 기계장비 등
중하기술산업		코크스, 석유정제품, 핵연료, 고무, 플라스틱제품, 조선 등
저기술산업		섬유제품, 의복, 가방, 신발 등

세 번째는 기술체제에 의한 산업분류로서 혁신여건과 지식기반에 따른 분류이다. 이는 산업의 혁신패턴이 기술체제에 의해 좌우(Malerba & Orsengio, 1996; Breschi et al., 2000) 되는 것에 따른 분류로서 기술적 기회성, 혁신의 전유성, 누적성 및 지식기반의 특성에 기반한 분류이다. 홍장표(2010)는 이러한 기술체제에 특성에 따라 제조업 산업을 4가지 산업군으로 분류 하였으며, 분류를 위한 각 지표의 측정방법은 다음과 같다. 먼저 기술 혁신활동의 여건을 나타내는 지표들인 기회성, 전유성, 누적성에 있어 기회성은 외부혁신원천의 활용도(5점 척도)의 산업별 평균값을 적용하였으며, 전유성은 ‘제품혁신 보호방법 활용도’ 이용하였다. 그리고 누적성은 해당산업의 특허를 보유한 기업 중 특허의 재 출원 비율로 산출하였으며, 지식기반은 외부혁신정보의 원천 항목을 이용하여 산출하였다. 그리고 이러한 원천항목에 따라 혁신에 사용되는 지식의 특성을 일반적·명목적 지식, 특수적·암묵적 지식으로 구분하였다.

[표 22] 기술체제의 특성에 따른 분류

구분		혁신여건	
		기회성, 전유성, 누적성 낮은 그룹	기회성, 전유성, 누적성이 높은 그룹
지식 기반	특수적/ 암묵적	저기술-특수적 지식 산업군	고기술-특수적 산업군
		봉제의복, 신발	화학, 섬유, 자동차 부품, 특수목적용 기계, 영상음향기기
	일반적/ 명목적	저기술-일반적 지식 산업군	고기술-일반적 지식 산업군
		선박 보트, 일반목적용 기계	전기, 기계, 항공기 우주선, 자동차 및 엔진, 무기 총포탄

네 번째는 방산물자의 특성에 따른 분류로서 방위사업법 시행령에 따른 분류이다. 방위사업법 시행령 제 39조 제 2항 및 동법 시행규칙 제 29조에 따르면 방산물자는 주요방산물자와 일반방산물자로 구분되는데, 주요 방산물자는 주로 무기체계 류에 속하며, 일반방산무기체계는 무기체계류를 제외한 나머지를 의미한다.

[표 23] 방산 물자 및 산업유형에 의한 분류

분 야	분류기준	주요산업
주요방산물자	군사전략 및 전술운용상 중요도	무기체계류(총포류, 유도무기, 항공기, 함정, 탄약, 전차, 레이더, 통신장비, 화생방 장비 등)
일반방산물자		비무기체계류

이 중 주요 방산물자인 무기체계는 무기체계 별 특성에 따라 8개의 유형-함정, 항공·유도, 화력, 탄약, 기동, 통신전자, 화생방, 기타(낙하산 및 부품류)으로 분류가 가능하며, 현재 방위사업청이나 방위산업진흥회에서는 8개의 유형에 따라 방위산업체를 분류하고 있다. 이러한 분류체계는 미국의 DIB(Defense industry base)에 의한 분류-항공, 함정, 기동, 전기, soldier system(화생방, 피복, 의료), 금속·원료, 탄약, 우주, 기계-와도 유사한 형태이다.

끝으로 안영수 외(2011)가 분류한 기준은 산업의 유형에 의한 분류이다. 산업연구원에서는 크게 방위산업을 3가지 유형-체계종합업체, 협력업체, 전문방산업체-로 구분하였다. 이 중 체계종합업체는 무기체계 완제품을 주로 생산하는 대규모 방산기업이며, 협력업체는 방산업체 중 체계종합 업체를 제외한 방산기업 그리고 전문방산업체는 체계종합 업체의 1차 협력업체로 구성품 및 부품류를 주로 생산하는 업체로 구분하였다. 산업연구원에 따른 분류는 생산업체의 유형적 특성이 잘 반영된 분류로 평가할 수 있지만 이와 같은 분류방법을 통한 통계자료의 이용에 제한이 있어 활용에 제약이 따른다.

방위산업에서 생산되는 제품은 보통 다양한 기술적 융합으로 이루어진 복합적인 성격을 가지고 있는 것이 일반적이며, 또한 원료나 소재보다는 완제품을 기준으로 분류되는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 바탕으로 앞서 일반 산업에서 사용되는 분류체계와 방위산업에서 사용되는 분류체계를 혼합하여 방위산업의 각 분야를 그룹화 하고, 분야별 특성에 따라 분류하였다.

분류기준은 현재 우리나라의 방위산업체 중 방산전업도 비율이 2008-2010년 기준 체계종합업체는 34.5%, 전문방산업체는 44.2%, 협력업체는 48.1%로 전체 평균이 46.4%에 지나지 않는다는 점에서 우선 방위산업의 분류를 위한 기준을 일반 산업의 분류기준에 따라 분류를 하여도 무방할 것으로 보이며, 일반 산업적 분류기준에 국방분야의 분류기준에 따른 각 분야를 유사한 산업군이 속한 분류체계에 대입하였다. 이러한 방법을 택할 수 밖에 없는 현실적인 이유는 방위산업에 관한 통계 데이터가 대체로 보안상의 이유로 공개되지 않고 있다는 점과 실질적인 국방예산 및 방위력 개선 사업의 업무 추진과 예산집행이 방산물자의 특성에 따른 기준에 따라 집행되기 때문이다.

방위산업 내 각 분야에 대한 그룹화 및 분류를 위해 방위사업청에서 사업집행 시 사용중인 분류기준을 Pavitt(1984)의 분류기준에 따른 산업군으로 분류하고 다른 분류체제(OECD, 기술체제 별 특성)에 따라 그룹화 되는 분야가 동일한지 살펴보았다. 분류결과 앞서 Pavitt(1984)의 분류에서와 거의 동일하게 그룹화가 가능하였다. 특히 과학기반형 산업으로 분류하였던 항공 및 유도와 통신전자는 분류체제 및 분류기준 모두 일치하였고 이 두 분야 이외에 탄약 또한 과학기반형 산업으로 분류되었다. 다음으로 규모집약형 산업군으로 분류했던 함정 및 기동, 화력분야에서 기동 및 화력은 모든 분야에서 일치하였으나 함정은 정확히 일치하는 바가 없었다. 그러나 함정분야가 다른 일반적인 선박건조와는 달리 보다 특수적인 구조가 요구되며 일반적으로 조선업이 규모집약적인 특성을 가지고 있다는 점에서 기동 및 화력분야와 그룹화하는 것은 문제가 없을 것으로 보인다. 그 외 공급자 지배형에 속

하는 화생방 및 기타부분 역시 각 항목이 대체로 일치하게 나타났다. 따라서 본 연구에서 방위산업 내 각 분야에 대한 분류기준으로 Pavitt(1984)의 분류기준을 따르는 것은 충분히 타당하다고 할 수 있다.

그러나 방위산업에서는 앞선 Pavitt(1984)의 분류에 의한 혁신패턴의 특성 이외에도 다음과 같은 방위산업만의 특성이 존재한다. Leoncini(1998)는 기술시스템을 기술 및 과학지식, 기술시스템의 구조, 시장환경, 그리고 제도적 상호작용영역으로 구분하였는데, 이중 기술시스템의 동태성을 설명하는데 있어서 제도적 상호작용영역을 특히 중요하게 다루었다. 이는 방위산업의 혁신시스템에서도 동일한데 방위산업의 혁신시스템을 다른 산업과 구분하게 하는데 있어 가장 크게 영향을 미치는 요소는 제도라 할 수 있다. 따라서 방위산업 혁신시스템의 동태적 특성 역시 제도적 영향에 기반하고 있다고 할 수 있다. 특히 방위산업과 관련된 조달정책 및 전력확보 계획, 더불어 방위산업체로 지정 받기 위한 절차 등은 방위산업 혁신시스템의 형태 및 동태성을 결정하는데 있어 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. Gallart(1997)는 조달정책이 방위산업의 목적달성을 위한 도구 사용되고 있음을 언급하였는데, 결국 조달정책에 따라서 나타나는 방위산업 혁신시스템에서의 제도적 식별은 방위산업 혁신시스템을 타 산업과 구분 짓게 하는 중요한 요인이라 할 수 있는 것이다.

분야별로 보면 방위산업에서 규모집약형 산업으로 분류된 함정 및 기동분야의 제품 및 공정혁신은 일반산업에서 나타나는 Pavitt(1984)의 혁신패턴과 더불어 제도의 영향에 따른 방위산업 고유의 특성 또한 지니고 있다. 통

상 방위산업에서의 함정분야는 크게 플랫폼에 해당하는 선체와 무기체계와 같은 탑재장비로 구분되는데 이중 탑재장비는 주로 전자나 통신장비로서 특성상 과학기반형 산업에 속하며 순수하게 선체부분만이 규모집약형 산업에 속한다고 할 수 있다. 따라서 제품혁신 및 공정혁신 비교 시 일반산업의 규모집약형 산업과 동일하게 공정혁신이 제품혁신보다 조금 더 활발하게 나타날 수 밖에 없을 것이다. 이러한 특징은 규모집약형 산업의 기술혁신 활동 목표가 비용감소와 제품개선에 있지만 대체적으로는 비용감소가 경쟁력에 있어 보다 중요한 역할을 하는 것에 기인한다. 그러나 이와 같은 경향이 절대적이며 지속적이라고 단언할 수는 없을 것이다. 이는 산업적 기반이 규모집약형 산업이라 할 지라도 방산제품이라는 특성상 요구되는 기본적인 사항, 즉 제품혁신을 통한 성능의 향상에 대한 기대치가 존재하기 때문에 일반적인 규모집약형 산업과는 달리 제품혁신과 공정혁신간의 차이가 지속적으로 존재하지 만은 않을 것이다. 이를 제도적 식별측면에서 보면 방위산업의 제품은 기본적인 작전요구성능(ROC)를 충족해야만 하기 때문으로 해석할 수 있다. 예를 들면 방위산업 중 규모집약형 산업에 속하는 함정분야의 경우 일반 선박과 달리 선체부분에 해당하는 추진기의 소음절감이 매우 중요한 기술적 요구사항 중 하나로 작용한다. 이는 소음이 클수록 적 잠수함에 탐지될 가능성이 높기 때문으로, 추진기의 형태 및 소음을 줄이기 위한 제품혁신 또한 매우 중요하다고 할 수 있기 때문이다.

방위산업에서 과학기반형 산업으로 분류된 분야는 항공 및 유도 그리고 전자 등과 같은 분야로서 이들 분야의 제품 및 공정혁신의 동태성은 앞선

규모집약형 산업의 동태성과는 차이가 있을 것이다. 우선 제품혁신 및 공정 혁신 비교 시 일반적인 과학기반형 산업의 혁신패턴에서 기술혁신 활동목표가 혼합되어 있는 것처럼 제품혁신 및 공정혁신 모두 활발하게 나타날 가능성이 높다. 그러나 분명한 것은 과학기반형 산업의 경우에는 제품혁신의 비율이 공정혁신에 비해 월등히 높게 나타나게 될 것인데, 이러한 특성은 첨단 무기체계는 주로 개발단계에서부터 정책에 따른 확보계획에 절대적으로 영향을 받고 있으며 또한 첨단무기체계 자체가 갖는 기술적 특성에 기인한다. 첨단무기체계에 대한 확보계획은 해당 무기체계의 필요성에 대한 검토단계에서부터 확보방안까지 모든 것이 제도 및 정책적 테두리에서 결정되게 된다. 따라서 해당 산업의 혁신 역시 이러한 계획에 따라 발현된다고 할 수 있다. 첨단무기체계와 같은 방산제품에 있어 무엇보다도 중요한 것은 가격보다 제품에 대한 신뢰도 및 목적에 따른 요구성능의 만족여부이며 이러한 요구성능에 대한 충족에 대한 조건이 제도적으로 규정화 되어 있다. 따라서 앞서도 언급했듯이 기술혁신 활동목표가 공정혁신보다는 제품혁신에 보다 중점을 두고 진행될 수 밖에 없는 특성을 가지고 있다. 또한 최근 첨단무기체계는 다양한 기술들의 복합체로서 무기체계간의 상호 네트워크를 통한 입체전력 구현을 목표로 하고 있을 뿐 아니라 전술적으로도 과거와는 달리 새로운 위협에 대항해야 하는 어려움에 처해 있다. 따라서 제품혁신을 통한 다양한 작전환경에 적합한 새로운 첨단무기의 개발이 요구되고 있다는 점에서 과학기반형 방위산업 분야는 제품혁신이 혁신의 중심이 될 수 밖에 없다.

[표 24] 방위산업의 각 분야별 분류체계 및 분류기준

구분		항공 유도	통신 전자	탄약	기동	화력	함정	화생방	기타
분 류 체 계	Pavitt	과학 기반	과학 기반	과학 기반	규모 집약	규모 집약	규모 집약	공급자 지배	-
	OECD	고기술	중상 기술	고기술	중상 기술	중상 기술	중하 기술	중상 기술	-
	기술 체제	고기술 일반	고기술 일반	고기술 일반	고기술 일반	고기술 특수	저기술 일반	고기술 특수	-
	Marsili	복합 구조	기초 공정	과학 기반	복합 구조	복합 구조	생산 공학	생산 공학	-
분 류 기 준	지식 기반	일반적 명목적	일반적 명목적	일반적 명목적	특수적 암목적	특수적 암목적	일반적 명목적	일반적 명목적	-
	혁신 여건	높음	높음	높음	높음	높음	낮음	낮음	-
	R&D 집약도	높음	중간	높음	중간	낮음	낮음	낮음	낮음
	생산성	중간	낮음	중간	높음	높음	중간	낮음	낮음
	외주 비중	낮음	-	높음	높음	높음	중간	-	높음
	가동률	중간	높음	중간	높음	높음	낮음	높음	높음

* R&D 집약도 2005년 기준 방산업체의 방산부문 신규설비투자 비율 항공유도(44.1%), 통신전자(35.7%), 기동(8.8%), 탄약(4.7%), 화력(2.1%), 함정(1.9%), 화생방(1.7%), 기타(0.9%)

*생산성은 분야별 1인당 매출액 기준(2005-2006)으로 1인당 매출 3억 이상 '상', 2억이상 '중', 그 외 '하' 로 구분

*가동률은 2003-2006년 평균 가동률 기준으로 60% 이상 시 '높음' 50~60% 미만 시 중간, 50% 미만 시 '낮음' 으로 구분

산업혁신시스템 관점에서의 방위산업 내 각 분야는 혁신시스템 구성요소별 역량 및 네트워크에 있어서도 차이가 존재한다. 먼저 규모집약형 방위산업의 경우에는 방위산업 육성이 시작된 시기부터 발전해 온 분야로서 이미 참여하는 혁신주체가 해당분야에서 오랜 기간 함께 해왔으며 이로 인해 새로운 혁신주체와의 네트워크 보다는 기존 혁신주체들 간의 네트워크가 활발한 편이다. 특히 규모집약형 방위산업 분야는 오랜 시간 해당분야에 대한 기술을 축적하고 있으며 기술수준 역시 이미 선진국 수준에 근접해 있기 때문에 자체 R&D가 활발하며 제도와 환경적 측면에서도 이미 다양한 변화를 경험했기 때문에 외부영향에 의한 변화에 비교적 순탄히 대응할 수 있는 역량을 갖추고 있다고 할 수 있다. 이에 반해 과학기반형 방위산업의 경우에는 규모집약형 방위산업에 비해 다양한 분야의 혁신주체로 구성되어 있으며, 각 혁신주체들 간의 역량에 있어서도 비교적 큰 차이가 존재한다. 각 혁신주체들간의 네트워크에 있어서도 규모집약형 방위산업이 다소간 폐쇄적인 네트워크를 유지하고 있는 것에 비해 지속적으로 새로운 혁신주체들과의 네트워크를 통해 혁신을 창출하려는 경향이 강한 반면 상대적으로 국방과학연구의 역할이 매우 크게 작용하고 있다. 또한 상대적으로 선진국과의 기술적 격차가 크며 일부 방산업체를 제외한 대부분의 업체가 정책 및 제도적 변화에 대한 대응 역량이 부족한 편이다.

3.4 연구가설

본 연구에서는 시스템다이나믹스를 이용하여 방위산업 혁신시스템의 동태성을 분석하는 것을 연구목적으로 하고 있다. 이에 지금까지 이론적 고찰을 통해 분석한 방위산업 혁신시스템의 동태적 특성 규명을 위한 연구가설을 설정하면 다음과 같다. 먼저 본 연구에서는 지금까지 방위산업을 분석했던 관점과 달리 통합적 관점에서의 방위산업 혁신시스템뿐 아니라 각 세부혁신시스템에 대한 동태성 또한 시뮬레이션 하고 각각의 특성을 규명하고자 한다. 이에 세부혁신시스템의 동태성과 통합적 관점에서의 방위산업 혁신시스템 비교를 통한 현재 방위산업 정책의 방향을 규명하기 위해 설정한 가설은 다음과 같다.

가설 1: 통합적 관점에서의 방위산업은 규모집약적 방위산업의 동태성과 유사할 것이다.

다음으로 산업혁신시스템 관점에 따르면 각 세부혁신시스템은 각각 다른 기술체제 및 혁신주체간의 네트워크를 가지고 있을 것으로 예상된다. 따라서 이러한 차이로 인해 세부 혁신시스템간에는 제품 및 공정 혁신의 동태성에 차이가 존재할 것으로 예상되며 이에 설정한 가설은 다음과 같다.

가설 2-1: 규모집약형 방위산업에서는 공정혁신이 제품혁신보다
크게 나타날 것이다.

가설 2-2: 과학기반형 방위산업에서는 제품혁신이 공정혁신보다
크게 나타날 것이다.

산업혁신시스템에서는 각 산업별로 혁신구성요소의 차이가 존재한다. 따라서 방위산업 내 세부혁신시스템에 있어서도 각 혁신구성요소의 영향력에는 차이가 존재할 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 혁신구성요소 중 혁신의 원천, 제도 및 정책 그리고 외부환경에 대한 각 세부혁신시스템의 차이를 확인하고자 하였으며 이에 설정한 가설은 다음과 같다.

가설 3-1: 규모집약형 방위산업에서는 외부네트워크가 크게 나타날
것이며 과학기반형 방위산업에서는 내부 R&D 투자가
혁신에 보다 효과적일 것이다.

가설 3-2: 과학기반형 방위산업이 제도 및 정책변화에 보다 민감할 것이다.

가설 3-3: 과학기반형 방위산업이 대외정세에 보다 민감할 것이다.

4. 방위산업 혁신시스템의 시스템다이내믹스 모형 구축

4.1 시스템다이내믹스 모형의 개요와 특징

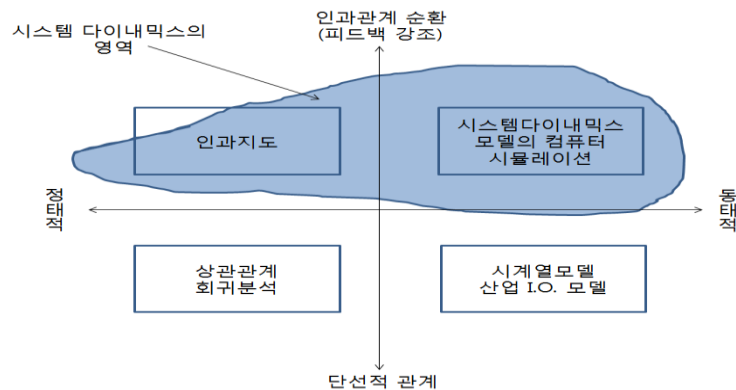
4.1.1 구조

본 연구에서는 방위산업의 혁신시스템에 관한 특성을 규명하기 위해 시스템다이내믹스 방법론을 사용하였다. 시스템다이내믹스 방법론은 분석하고자 하는 대상과 이와 직·간접적으로 관련된 변수들을 하나의 시스템을 정의하고, 이들 각 변수들간의 관계를 정량화하여 모델링 한 후, 시뮬레이션을 통해 동적인 특성을 밝혀내는 방법론이다. 시스템다이내믹스는 Forrester(1961)의 ‘산업동태론(industrial dynamics)’에서 출발하였으며, 이로 인해 초기에는 산업동태론으로 불렸으며, 산업동태론이 산업부분뿐만 아니라 사회과학의 전 분야, 심지어는 자연과학과 공학에도 적용되면서 보다 일반적인 용어인 시스템다이내믹스로 불리게 되었다(김도훈 외, 1998). Forrester(1961)에 따르면 시스템다이내믹스는 시스템의 동태적 특성을 가져오는 정보네트워크의 중요성을 강조하는 특성을 지닌 방법론이라고 언급하였다. 이는 결국 시스템다이내믹스가 시스템의 진화과정을 시뮬레이션을 통해 보여줄 수 있는 방법론임을 의미한다. 따라서 기본적으로 시스템다이내믹스는 시스템의 동태적인 행동변화(dynamic behavior) 즉, 시간의 경과에 따른 시스템의 행태변화에 관심을 둔다(김도훈 외, 1998).

시스템다이내믹스는 시스템의 동태적 행동변화의 원인을 시스템을 구성하고 있는 변수들간의 상호 피드백구조에서 찾는다. 여기서 피드백 구조란 변

수들간의 인과관계가 상호 연결되어 하나의 폐쇄회로를 형성하는 것을 의미한다(Richardson, 1991). 시스템다이내믹스를 다른 방법론과 비교 시 구분되는 가장 큰 특징은 바로 피드백 구조를 강조한다는 것이다. 따라서 시스템다이내믹스에서는 시스템의 변화의 원인을 외부적인 변수(exogenous variable)보다는 내부적인 변수(endogenous variable)에서 찾는다(김도훈 외, 1998). 즉, 시스템의 행태변화를 유발하는 원인을 외부에서 찾기 보다는 시스템 내부에서 시스템을 구성하고 있는 변수들간의 상호 피드백구조에서 찾고 이를 통해 문제를 해결하고자 하는 방법론이라 할 수 있다.

시스템다이내믹스의 방법론적인 위상은 [그림 12]와 같다.



[그림 12] 시스템다이내믹스의 방법론적 위상

출처 : 김도훈 외(1998), “시스템사고와 시스템다이내믹스”.

그림과 같이 시스템다이내믹스는 단선적 관계보다는 시스템을 구성하고 있는 각 변수들 간의 인과관계를 강조하며, 시스템을 정적인 상태로 보지 않고 진화하고 변화하는 동태적 구조를 가지고 있는 것으로 본다. 따라서 타

방법론이 단선적이며 정태적인 시각에서 시스템을 분석하는 것과는 확연한 차이가 있다고 할 수 있다.

시스템다이내믹스가 가지는 또 다른 차이점은 수치적인 정확성을 추구하지 않는 대신 상식적인 피드백구조에 의해 도출되는 시스템의 구조적인 변화에 초점을 둔다는 점이다. 따라서 시스템다이내믹스 역시 타 방법론과 동일하게 계량적인 시뮬레이션을 수행하지만 수치의 정확성은 추구하지 않는다.(김도훈 외, 2001) 이러한 점에서 시스템다이내믹스는 계량적인 접근보다는 질적인 접근에 가깝다고 할 수 있다(Coyle, 1983).

시스템다이내믹스를 통한 분석은 크게 인과지도와 시스템다이내믹스 모델로 구분할 수 있다. 이 중 인과지도 작성은 시스템다이내믹스 연구의 초기단계로서 시스템을 구성하고 있는 변수들간의 상호인과관계에 따른 시스템의 행태를 개념적으로 파악하게 하며, 이러한 인과지도를 바탕으로 작성된 시스템다이내믹스 모델은 실제 시스템의 동태적인 행태를 시뮬레이션을 통해 분석할 수 있게 하는 기능을 가지고 있다. 결국 인과지도와 모델링은 상호보완적인 관계라 할 수 있다. 인과지도는 시스템의 구조적 특성을 충분히 설명을 가능하지만 이를 구체화하고 검증하기 어렵다는 한계가 존재하며, 모델링은 기본적으로 분석하고자 하는 대상에 대한 인과적 관계가 개념적으로 정립되어야 가능하기 때문이다.

동태적 행태 유형을 나타내는 시스템다이내믹스는 정태적 행태, 즉 점추정을 하는 통계적 방법론과는 많은 차이점이 있다.

[표 25] 시스템다이내믹스와 통계적 방법론간 비교

특 성	통계적 방법론	시스템다이내믹스
추론 방식	기존의 경험적 자료	변수들간의 인과적 관계
분석 대상	정태적 형태(점추정)	동태적 형태
분석 초점	두변수간의 상관관계	다변수들간의 순환관계
분석 목표	수치적 정확성의 추구	구조적 정확성의 추구
정책 예측	단기적 예측	장기적 예측
정책처방의 실험	어려움	쉬움(정책수단의 발견)

출처 : 김도훈 외(1998), “시스템사고와 시스템다이내믹스”.

방법론적인 측면에서 시스템다이내믹스와 통계적 방법론간 비교하면 [표 25]와 같다. 표에서 알 수 있듯이 시스템다이내믹스가 분석대상의 동태적 행태에 관심을 두는 방법론인 반면 통계적 방법론은 정태적 행태에 관심을 두며, 분석초점에 있어서도 시스템다이내믹스가 시스템을 구성하고 있는 다양한 변수들간의 순환관계를 중요시 하는 반면 통계적 방법론은 대체로 두 변수간의 상관관계를 중요시 한다. 또한 정책예측 측면에서도 각각 장기적 예측과 단기적 예측으로 구분되는 차이가 존재한다.

분석에 있어서도 기존 계량경제학과 시스템다이내믹스 간에는 차이점이 존재한다. 계량경제학자들은 시스템을 개방적이라고 생각하여 시스템과 환경을 분리하여 생각하지만 시스템다이내믹스에서는 시스템과 환경을 상호작용하는 폐쇄된 시스템이라고 생각한다. 계량경제학자는 환경의 변화를 시스템

에 대한 투입(input)으로 보고, 투입에 대하여 시스템이 어떠한 균형상태에 도달할 것인가에 대한 관심을 갖는다. 그러나 시스템다이내믹스는 환경의 변화가 시스템의 변화를 가져오고, 시스템의 변화는 다시금 환경의 변화를 가져온다고 믿고 있다. 따라서 시스템다이내믹스 연구자들은 시스템의 종국적인 균형점에 관심을 가지기 보다는 환경과의 상호작용에 따른 진화과정에 관심을 지닌다(김도훈 외, 1998)

[표 26] 분석에 있어 계량경제학과 시스템다이내믹스 간 차이점

특 성	계량경제학	시스템 다이내믹스
시점의 차이	단기적 정책 / 예측	장기적 정책 / 예측
시스템과 환경	개방적 / 상호분리	통합적 / 긴밀한 상호작용
연구의 초점	시스템의 균형상태	시스템의 진화 / 전개 과정
지식의 대상	관찰가능 한 객관적 현상	보이지 않는 피드백 구조
구조와 파라미터	구조 << 파라미터	구조 >> 파라미터

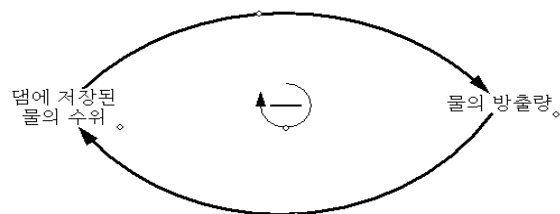
출처 : 김도훈 외(1998), “시스템사고와 시스템다이내믹스”.

4.1.2 사례

시스템다이내믹스 모델링을 위해서는 시스템을 구성하고 있는 구성 요소를 식별하고 구성요소를 각각의 특성에 따라 구분하는 것이다. 시스템을 구성하고 있는 변수는 크게 정책변수, 환경변수, 목적변수로 구분이 가능한데 먼저 정책변수는 시스템을 변화시키기 위한 의사결정에 해당하는 변수 이고

환경변수는 시스템을 구성하고 있지만 의지에 따라 변화시킬 수 없는 특성을 가진 변수를 의미한다. 끝으로 목적변수는 정책변수의 조절을 통해 변화시키고자 하는 대상에 해당되는 변수이다. 이렇게 분석하고자 하는 대상에 대한 변수의 식별 및 분류가 완료되면 이러한 변수들의 상호 피드백구조를 인과지도로 표현한다.

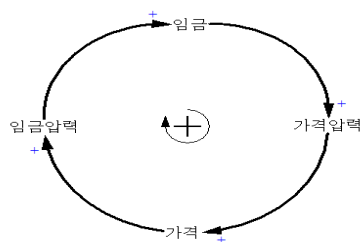
일반적으로 인과지도는 세 가지 요소로 구성된다(Hall, 1994; Weick, 1979). 첫째, 화살표를 사용하여 변수와 변수간의 인과관계의 방향을 표시한다. 화살표의 기점이 원인이 되는 변수이며 화살표의 종점이 영향을 받는 변수이다. [그림 13]에서 살펴보면 댐에 저장된 물의 수위는 물의 방출량에 양(+)의 관계를 미치고 물의 방출량 변수는 댐에 저장된 물의 수위에 대하여 음(-)의 인과관계를 미치는 것을 확인할 수 있다. 즉 화살표가 의미하는 것은 화살표 방향으로 영향을 준다는 것이다.



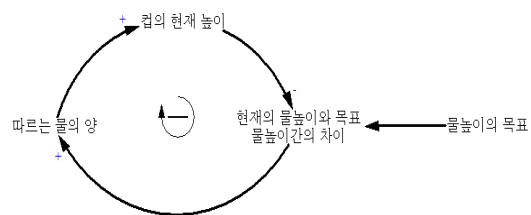
[그림 13] 댐수위에 대한 인과지도

[그림 13]에서 말한 피드백 루프는 양(+)의 피드백 루프와 음(-)의 피드백 루프로 구분된다. 양의 피드백 루프는 “ 자기강화 피드백(self-

reinforcing)", 음의 피드백 루프는 "일탈강화적 피드백(deviation amplifying feedback)"이라고 불린다. [그림 14]의 (a)에서 임금과 가격간에는 자기강화피드백 관계가 존재하는데, 임금의 상승이 가격을 상승시키는 원인으로 작용하고 있으며 가격의 상승은 다시 임금압력의 가중으로 나타나게 되어 결국 임금의 상승으로 이어지는 피드백구조를 나타낸다. 이러한 양의 피드백 루프는 원의 중심부에 (+) 또는 (R) 기호로 나타낸다. (b)의 인과지도는 일탈강화적 피드백구조를 나타내는 인과지도로서, 물 높이의 목표가 정해져 있을 때 물을 따르기 시작하면 컵의 물 높이가 올라가고 따라서 현재의 물 높이와 목표 물 높이간의 차이는 줄어들게 되며 결국 이러한 차이가 없는 순간에는 물 따르기가 중단된다. 이러한 관계를 인과지도의 개념으로 보면 '물을 따르는 양'과 '컵의 현재 높이' 간에는 양(+)의 관계, '컵의 현재 높이'와 '현재의 물 높이와 목표 물 높이간의 차이'에는 음(-)의 관계가 존재한다. 그리고 시스템 전체적으로는 음(-)의 관계가 홀수개로 존재하므로 전체 루프의 극성(polarity)은 음(-)이 되며, 이러한 경우 피드백루프 중앙에 (-) 또는 (B)의 기호로 나타낸다.



(a) 양의 피드백 루프



(b) 음의 피드백 루프

[그림 14] 양의 피드백루프와 음의 피드백 루프

시스템다이내믹스에서 인과지도만으로도 정책적 함의를 확인할 수 있지만 보다 더 신뢰성 있는 연구결과를 위해서는 작성된 인과지도를 시뮬레이션 할 수 있도록 구체화된 시뮬레이션 모델로 전환시켜야 한다. 이는 흐름도로 불린다. 이를 이해하기 위해서는 저장과 유량의 개념이 중요하다. 예를 들어 강물의 수위는 저장, 즉 스톡(stock)를 말하며 유량은 물의 흐름 즉 빗물의 양과 강물이 빠져나가는 양을 말하며 이는 흐름변수(flow)로 쓰인다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_t = \int_{t_0}^t (F_i - F_o) dt + S_{t-1}$$

여기서 S_t 는 t 기의 저장된 값을 의미하며, F_i 는 새롭게 추가되는 양, F_o 는 감소되는 양을 의미한다. 다시 말하면 저장량은 특정 시점에서 시스템의 상태(system state)를 표현하는 반면 유량은 시스템의 상태가 어떻게 변화하는가를 의미한다.

4.2 방위산업 혁신시스템의 하부 인과지도

방위산업 혁신시스템을 각 하부 구성요소에 따라 인과지도로 표현하면 다음과 같다. 인과지도는 먼저 방위산업의 기본구조 및 현 실태에 대한 표현이 가능한 수요부문에 대한 인과지도와 R&D 투자와 혁신성과간의 관계를 표현한 인과지도를 작성하였다. 또한 혁신시스템 관점에서는 지식의 원천, 기회성, 전유성에 대한 인과관계 및 제도와 정책 측면에서 시장구조와의 인과관

계를 분석하였다.

인과지도 모형은 기본적인 방위산업의 구조에 본 연구에서 다루고 있는 혁신시스템과 관련된 변수가 추가되었는데, 기본적인 방위산업의 구조는 앞서 제 2장 및 제 3장에서 설명한 방위산업의 특징과 현재 우리나라 방위산업 현황을 고려하였으며 모형은 Peter(1990)가 제시한 10가지 피드백 구조의 원형을 참고로 하여 작성하였다. 이러한 방위산업 혁신시스템에 대한 인과지도는 방위산업을 구성하는 각 혁신주체들간의 인과관계를 설명할 수 있게 하며 이후 저장-유량 흐름도를 위한 기본적인 모델 구조를 개념화한다.

방위산업 혁신시스템의 인과지도 작성을 위한 주요변수를 변수의 특징에 따라 구분하면 [표 27]과 같다.

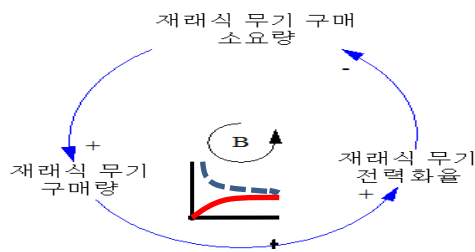
[표 27] 방위산업 혁신시스템 인과지도의 주요변수

구 분	변수명
환경변수	<ul style="list-style-type: none"> · 주변국 첨단무기 보유수준 등 · 재래식 무기의 양산 & 배치 수준 등 · 정책의지 등
목적변수	<ul style="list-style-type: none"> · 제품혁신 수준 · 공정혁신 수준 · 방위산업매출 · 국방전력
조절변수	<ul style="list-style-type: none"> · 제도영향(시장구조) · 국방비중 국내방산비중 · 네트워크 강도

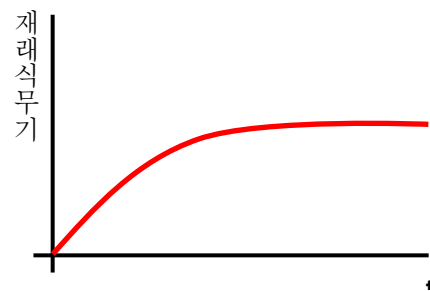
4.2.1 성장과 혁신

방위산업의 기본구조 파악을 위해 방산물자 수요에 대한 인과지도를 작성하면 [그림 15]와 같다. 수요에 관한 인과지도는 방산물자에 대한 수요의 특성을 극명하게 보여줄 수 있도록 편의상 재래식 무기와 첨단무기로 구분하여 작성하였다.

먼저 재래식 무기 소요량에 대한 인과지도를 보면 재래식 무기 구매에 대한 소요의 증가는 재래식 무기 구매량을 늘리게 되어 두 변수간의 인과관계는 양(+)의 관계를 가지게 된다. 재래식 무기 구매량과 전력화율간 역시 구매량이 증가하면 목표하고자 하는 전력화율 또한 증가하기 때문에 두 변수간의 인과관계 역시 양(+)의 관계를 가지게 된다. 그러나 재래식 무기 전력화율이 증가하면 재래식 무기 구매에 대한 소요가 감소하기 때문에 두 변수간에는 음(-)의 관계를 가지게 되며 따라서 전체적인 루프는 음(-)의 피드백 루프를 가지게 된다. 이를 시간의 흐름에 따라 보면 (b)와 같이 일정시점까지는 증가하다 수렴하는 형태를 가지게 된다.



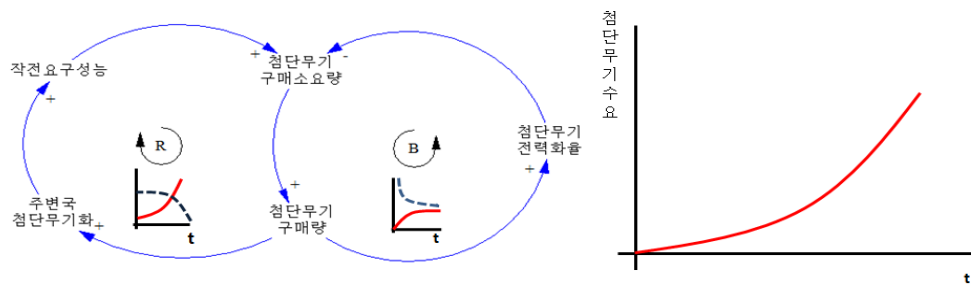
(a) 재래식 무기수요 인과지도



(b) 재래식 무기 수요 동태성

[그림 15] 재래식무기 수요 인과지도 및 동태성

첨단무기수요에 대한 인과지도 및 동태성은 [그림16]과 같다. 첨단무기의 수요에 관한 인과지도의 기본 형태는 재래식무기의 수요와 동일하다. 그러나 외생적 환경 요인인 주변국 첨단무기화에 관한 변수가 추가 됨으로써 첨단 무기에 대한 구매소요량을 지속적으로 증가시킬 요인이 항상 존재하게 된다. 따라서 [그림 16]의 (a)에서 양(+)의 피드백 루프인 R 피드백 루프가 음(-)의 B 피드백 루프보다 강하게 작용 한다면 첨단무기에 대한 수요에 대한 동태성은 [그림 16]의 (b)와 같이 지속적으로 상승하는 형태를 가지게 된다.

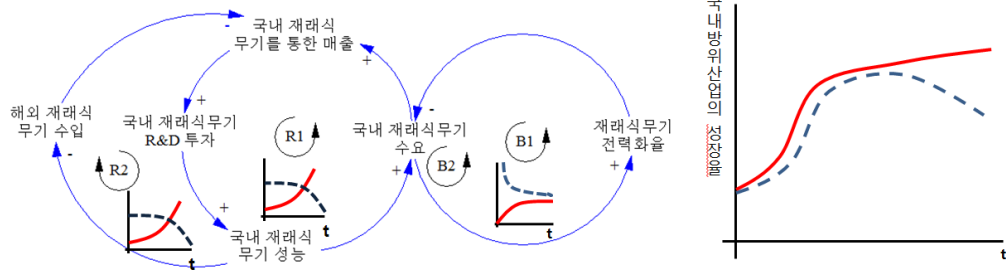


(a) 첨단 무기수요 인과지도

(b) 첨단 무기 수요 동태성

[그림 16] 재래식무기 수요 인과지도 및 동태성

[그림 17]은 그 동안 우리 방위산업의 성장과정과 한계를 나타내는 인과 지도로서 우리 방위산업의 발전과정과 현재의 모습을 잘 표현하고 있는 인과지도라 할 수 있다.



(a) 방위산업의 성장과 한계

(b) 성장의 동태성

[그림 17] 방위산업의 성장과 한계 인과지도 및 동태성

R1 피드백 루프에서 국산재래식 무기를 통한 매출은 재래식 무기에 대한 R&D 투자를 늘리게 되고 증가된 R&D 투자는 재래식 무기 성능의 향상을 가져와 국내 재래식 무기에 대한 수요를 증가시키는 선순환적 구조를 가지게 될 뿐 아니라 R2 피드백 루프에서와 같이 해외 재래식무기의 수입은 줄여 음(-)의 관계에 있는 재래식 무기를 통한 매출을 증가시키게 된다. 그러나 이러한 선순환적 피드백 구조는 B1과 R1이 통합된 피드백 루프인 B2 피드백 루프에서 B1 피드백 루프 같이 재래식 무기에 대한 전력화가 완료되면서 수요의 감소를 가져오게 되어 전체 시스템적으로는 (b)와 같이 성장이 한계를 맞는 결과를 낳게 된다. 이를 우리 방위산업의 발전과정에 맞춰 해석해 보면 방위산업육성 초기 재래식무기에 개발 성과는 국내 재래식 무기에 대한 수요를 증대 시키고 재래식 무기에 대한 국산화율 높이는 결과를 가져와 방위산업에 대한 지속적인 성장을 가져오게 되지만 결국 재래식 무기에 대한 수요의 감소에 따른 성장둔화를 겪게 되었던 사실과 정확히 일치한다고 할 수 있다.

[표 28] 방위산업 성장과 혁신 인과지도의 순환과정

구 분	루프
R1	국내재래식 무기를 통한 매출->국내 재래식 무기 R&D 투자-> 국내 재래식 무기성능->국내 재래식 무기 수요
R2	국내재래식 무기를 통한 매출->국내 재래식 무기 R&D 투자-> 국내 재래식 무기성능->해외재래식 무기 수입
B1	국내재래식 무기 수요->재래식 무기 전력화율
B2	국내재래식 무기를 통한 매출->국내 재래식 무기 R&D 투자-> 국내 재래식 무기성능->국내 재래식 무기 수요->재래식 무기 전력화율

방위산업 수요부문의 인과지도를 시스템 실패 측면에서 분석해 보면 방위산업은 ‘이행의 실패’를 겪었다고 할 수 있다. 즉, 기존에 축적한 지식의 영역을 벗어나는 새로운 기술 패러다임이 필요로 하는 지식의 획득에 실패한 전형적인 사례라 할 수 있다. 방위산업 육성 초기 재래식 무기 분야에 대한 안정적 수요와 각 혁신주체 별 역할 분담 그리고 지원제도는 효율적인 혁신 활동을 유도하였으며 지속적인 혁신성과를 창출하며 성장을 하였다. 그러나 재래식 무기의 수요가 포화상태에 이르고 새로운 첨단 무기에 대한 수요의 증가에도 불구하고 첨단무기의 개발을 위한 혁신에는 미온적으로 대처한 결과 첨단무기의 개발 및 생산을 위한 새로운 기술 및 지식획득에 실패하였으며 이후 뒤늦게 첨단무기를 위한 개발경쟁에 참여하였으나 이미 경쟁국가들과의 기술적 역량의 차이가 심화됨에 따라 새로운 수요를 확보하지 못하게 되었다고 할 수 있다. 이러한 결과는 결국 매출이 정체되고 첨단 무기의 개발을 위한 R&D 투자 또한 활발하게 이루어지지 못하게 됨으로써 혁신활동

자체가 정체되는 악순환이 반복되게 되었다고 할 수 있다.

또 다른 측면에서 인과지도를 분석하면 방위산업 성장에 있어 수요가 성장에 절대적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 방위산업에 있어 수요는 방위산업매출과 직접적으로 연관되는데 따라서 방위산업 성장의 원동력인 혁신과 방위산업매출간에는 양(+)의 관계가 있다고 할 수 있을 것이다. 이와 같은 사실은 세계방산기업의 매출집중도가 점점 증가(SIPRI, 2006)되고 있다는 점에서도 유추해 볼 수 있다. 세계방위산업에서 대형화 된 방위산업체가 지속적으로 시장지배력을 갖게 되는 것은 바로 대규모의 R&D 투자를 통해 혁신적인 제품을 지속적으로 시장에 내놓게 되고 이를 통해 시장의 지배구조를 유지하게 되었다고 할 수 있다.

4.2.2 R&D 투자와 혁신

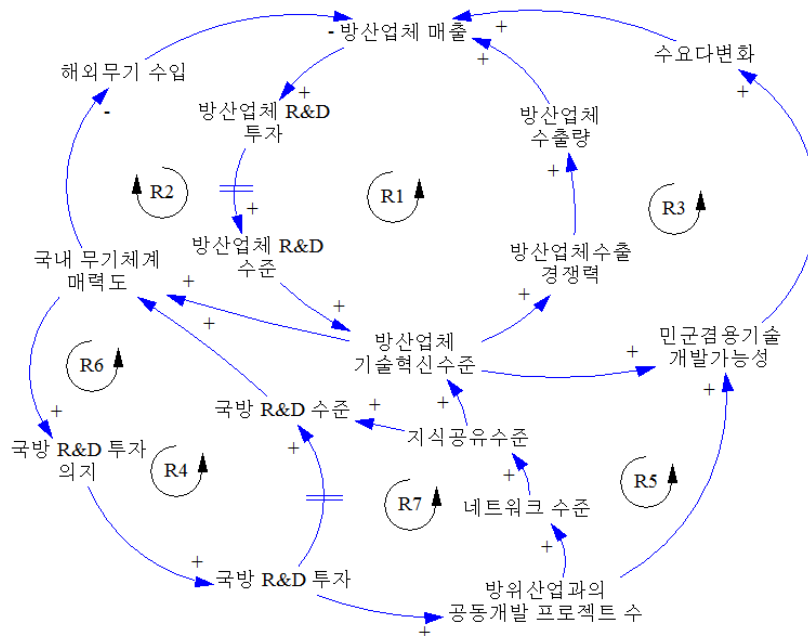
혁신성장에 영향을 미치는 R&D 투자부문에 관한 인과지도는 [그림18]과 같다. R&D 투자부문에 대한 인과지도는 총 7개의 피드백 루프가 존재하며 모든 루프가 자기강화루프의 형태를 가지고 있다.

먼저 R1과 R2 피드백 루프는 방위산업체의 매출과 R&D 투자 그리고 R&D 투자가 기술혁신을 이끌게 되어 해외수출을 증가시키고 나아가 해외무기에 대한 수입대체 효과를 가져오는 피드백 루프이다. 그러나 R1과 R2 피드백 루프에서 방산업체 R&D 투자와 방산업체 R&D 수준간에는 시간지연이 존재하며, 이러한 시간지연은 R&D 투자가 매출로 이어지는데 있어서도 작용하게 된다.

R3 피드백 루프는 방산업체의 기술혁신이 민·군겸용기술 개발 가능성을 증가시키고 민·군겸용기술의 개발 가능성 증가는 수요의 다변화를 가져와 결국 방산매출을 증가시키는 피드백 루프이며, R3 피드백 루프 역시 시간지연에 영향을 받는다.

R4 피드백 루프는 방산업체의 기술혁신수준이 국방 R&D 투자 의지를 활성화 시키고, 국방R&D 투자의 활성화는 방산업체와 국방연구기관과의 공동 프로젝트를 증가시켜 지식을 공유하고 이것이 다시 방산업체의 기술혁신 수준을 증가시키는 피드백 루프이다.

R5 피드백 루프는 방위산업과의 공동프로젝트의 증가가 민·군겸용기술 개발가능성에 영향을 미쳐 결국 방산업체의 매출에 까지 영향을 미치는 피드백 루프이다.



[그림 18] R&D 투자와 혁신에 관한 인과지도

R&D 투자부분 인과지도에서 정부 및 산업의 R&D 투자는 모든 피드백 루프에서 중요하게 작용하고 있으며, 인과지도상 나타난 결과는 기존 연구들에서 방위산업을 발전시키거나 선순환 구조로 만들기 위해서 R&D투자가 선행되어야 한다는 주장과 동일하다고 할 수 있다. 특히, R&D 투자를 통한 혁신수준의 증가는 해외수입에 대한 대체 및 민·군겸용기술의 확산 등 수요를 다변화하여 내수시장에 의존적인 방위산업구조를 변화시킬 수 있다.

방위산업 R&D 투자의 특징을 산업혁신시스템 관점에서 보면 다음과 같다. 먼저 기술의 복잡성은 피드백 루프에서 R&D 투자를 통한 혁신성과의 창출에 있어 필연적으로 시간지연을 수반하고 있으며 따라서 시간지연을 최소화하거나 또는 시간지연의 기간 동안 방위산업이 안정적으로 유지될 수 있도록 하는 제도적 지원이 필요하다고 할 수 있다. 이를 위한 다양한 방법 중 국방 R&D 투자를 통해 정부와 산업간 공동프로젝트를 활성화 시켜 혁신주체간 네트워크의 강화하는 것 또한 시간지연을 최소화 할 수 있는 방법이라 할 수 있다. 다만 현재 R&D 투자에 있어 정부가 약 80%의 비중을 차지하고 있다는 점에서 방위산업체 자체 R&D 투자를 이끌어 낼 만한 유인책이 요구된다. 특히, 정부주도의 R&D 투자는 기업으로 하여금 정부의존적인 성향을 갖게 하는 결과를 낳았으며 이로 인해 네트워크의 방향성 측면에서도 정부 편향적인 단방향성을 가질 수 밖에 없는 한계가 존재하게 되었다는 점에서 정부와 산업 간 균형 있는 R&D 투자가 이루어져야 할 것이다.

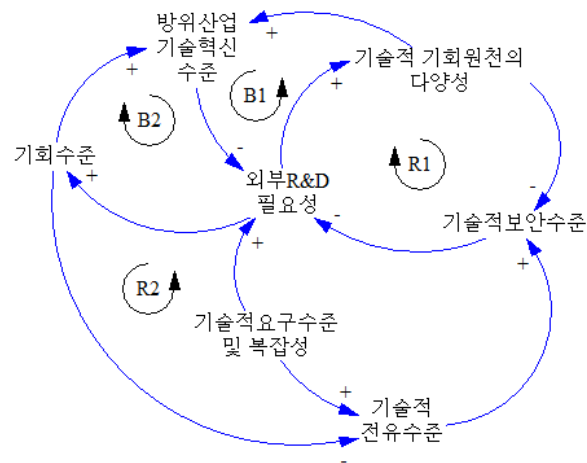
[표 29] 방산 R&D 투자와 혁신 인과지도의 순환과정

구 분	루프
R1	방산업체 매출→방산업체 R&D 투자 → 방산업체 R&D 수준→ 방산업체 기술혁신 수준→방산업체 수출경쟁력→방산업체 수출량
R2	방산업체 매출→방산업체 R&D 투자 → 방산업체 R&D 수준→ 방산업체 기술혁신 수준→국내무기체계 매력도→해외무기수입
R3	방산업체 매출→방산업체 R&D 투자 → 방산업체 R&D 수준→ 방산업체 기술혁신 수준→민·군겸용기술 개발가능성→수요다변화
R4	방산업체 기술혁신수준→국내 무기체계 매력도→국방R&D 투자 의지 →국방 R&D 투자 →방위산업과의 공동개발 프로젝트 수→네트워크 수준→지식공유수준
R5	방산업체 매출→방산업체 R&D 투자 → 방산업체 R&D 수준→ 방산 업체 기술혁신 수준→ 국내 무기체계 매력도→국방R&D 투자 의지 →국방 R&D 투자 →방위산업과의 공동개발 프로젝트 수→민·군 겸용기술 개발가능성→수요다변화
R6	방산업체 기술혁신수준→국내 무기체계 매력도→국방R&D 투자 의지 →국방 R&D 투자→국방R&D 투자
R7	국내 무기체계 매력도→국방R&D 투자 의지→국방 R&D 투자 → 방위산업과의 공동개발 프로젝트 수→네트워크 수준→지식공유수준 →국방 R&D 수준

4.2.3 기술체제와 혁신

분야에 따라 차이가 존재하기는 하지만 방위산업을 통해 생산되는 제품은 보통 강한 보안성을 요구한다. 무기체계에 관련된 방산제품은 보통 더욱 높은 수준의 보안성이 요구되는데, 이러한 이유는 방산제품의 생산과정 및 제품 모듈별 성능만으로도 해당 방산제품의 성능을 추측할 수 있으며 이러한 성능의 수준은 타국에 중요한 정보로 작용할 수 있기 때문이다. 따라서 방위

산업 혁신시스템에서는 대체로 혁신주체의 참여가 제한될 수 밖에 없으며 결국 이러한 제한은 기술적 기회의 수준의 다양성을 제한하게 된다. 따라서 기술적 기회의 원천이 대부분 내부 R&D를 중심으로 기술혁신의 기회를 창출하게 된다. 반면 폐쇄적인 구조를 통해 생산되는 방산제품의 특성상 해당 지식에 대한 전유성은 타 산업에 비해 높다고 할 수 있으며, 이러한 관계를 인과지도로 표현하면 [그림19]와 같다.



[그림 19] 지식체제와 혁신에 관한 인과지도

4.2.4 제도와 혁신

혁신시스템에서 제도는 혁신을 유발 또는 제한하는 역할을 한다. 특히, 방위산업 혁신시스템에서 제도의 영향은 절대적인데, 이 중에서 시장구조가 큰 영향을 미쳤다는 사실에는 대부분의 연구자가 공감하는 부분이다. 이러한 시장구조의 영향을 인과지도로 표현하면 [그림 20]과 같다.

Figure 1 illustrates a conceptual model of the relationship between R&D investment and the degree of competition. The model consists of four main components in a circular flow:

- 방산자원 효율성 (R&D Efficiency):** Represented by a graph labeled 'B' showing a decreasing curve over time (t).
- 전문화/계열화 수준 (Degree of Specialization):** Represented by a graph labeled 'R' showing an increasing curve over time (t).
- 방위산업내 경쟁 (Competition in Defense Industry):** Represented by a graph showing a decreasing curve over time (t).
- 방산업내 R&D 투자 (R&D Investment in Defense Industry):** Represented by a graph showing an increasing curve over time (t).

The relationships between these components are indicated by arrows with '+' or '-' signs:

- 방산자원 효율성 (+) → 전문화/계열화 수준
- 전문화/계열화 수준 (+) → 방위산업내 경쟁
- 방위산업내 경쟁 (-) → 방산업내 R&D 투자
- 방산업내 R&D 투자 (+) → 방산자원 효율성

There are also direct relationships between the degree of specialization and the other components:

- 전문화/계열화 수준 (+) → 방산자원 효율성
- 전문화/계열화 수준 (+) → 방산업내 R&D 투자

The red line graph on the right shows the degree of specialization (전문화/계열화 수준) over time (t), which starts high and then decreases.

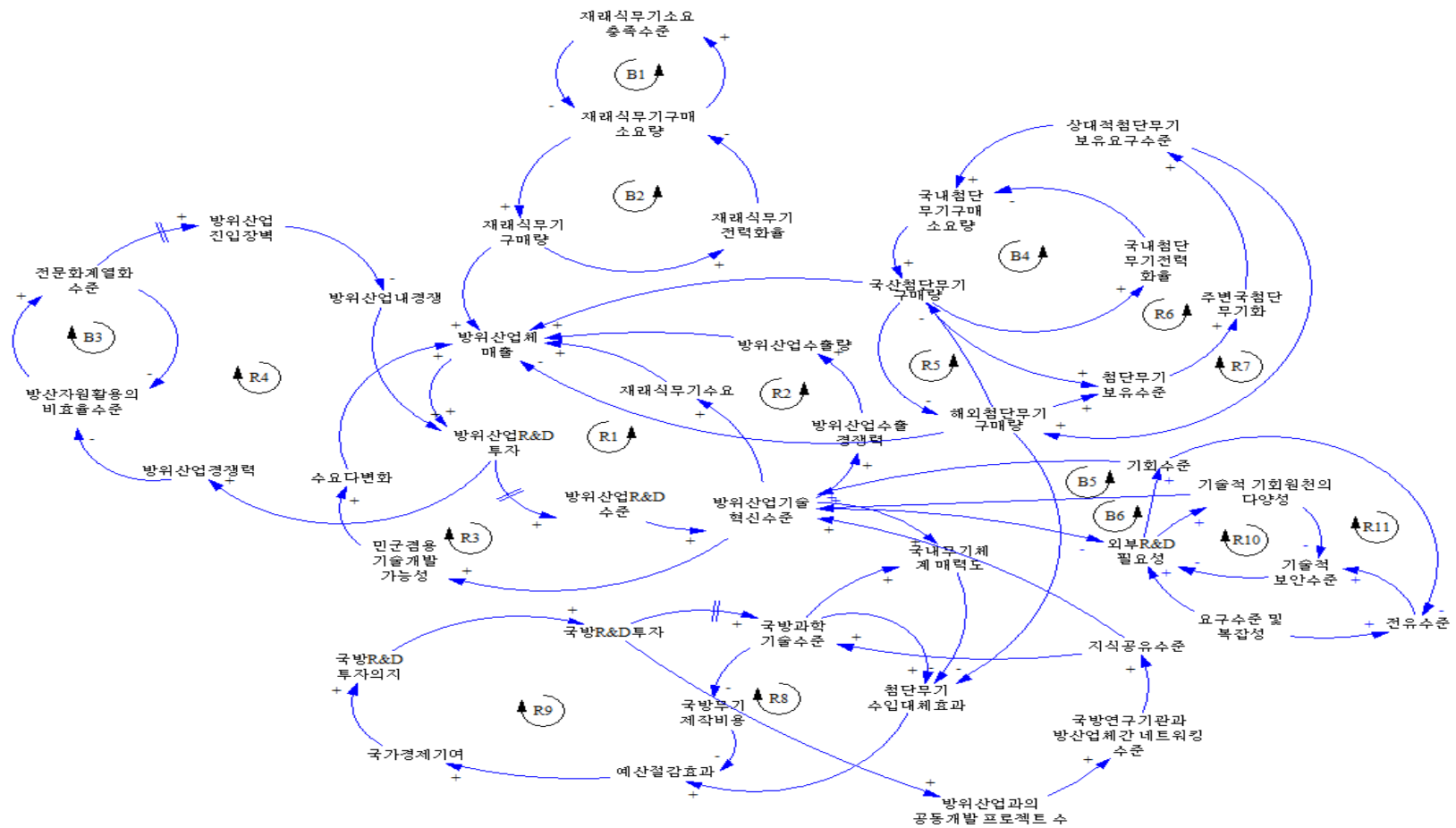
장벽이 존재하고 있다고 판단할 수 있으며 이러한 암묵적인 진입장벽이 낮춰질 수 있도록 보다 다양한 유인정책이 필요하다고 할 수 있다.

4.3 방위산업 혁신시스템의 통합인과지도

방위산업의 성장, R&D 투자, 기술체제 및 제도와 혁신과의 관계에 대한 인과지도에 외부영향까지 통합하여 인과지도를 작성하면 [그림 21]과 같다.

방위산업의 성장에 영향을 미치는 방산매출과 R&D 투자는 각각 3개 및 5개의 피드백 루프를 형성하고 있었으며 피드백 루프 모두 기술혁신수준에 영향을 미치고 있었다. 세부적으로 방산매출은 R&D투자를 활성화 하고 이는 기술혁신수준을 끌어올려 수출경쟁력 및 민·군겸용기술 개발가능성 증가를 통한 수요 다변화 등에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 방산매출과 R&D 투자가 기술혁신에 직접적인 결정요인이 되고 있음을 확인할 수 있었다.

기술체제와 제도는 방위산업의 혁신수준에 영향을 미치는 변수로서의 역할을 하고 있었으며, 특히 시장구조의 피드백 루프에서 직접적으로 기술혁신이 포함되어 있는 피드백 루프는 존재하지 않지만 시장구조가 방위산업내의 경쟁을 유발시켜 기술혁신에 영향을 주는 방위산업의 R&D 투자를 활성화 시켜 방산업체의 경쟁력을 강화시키는 것으로 나타났다.



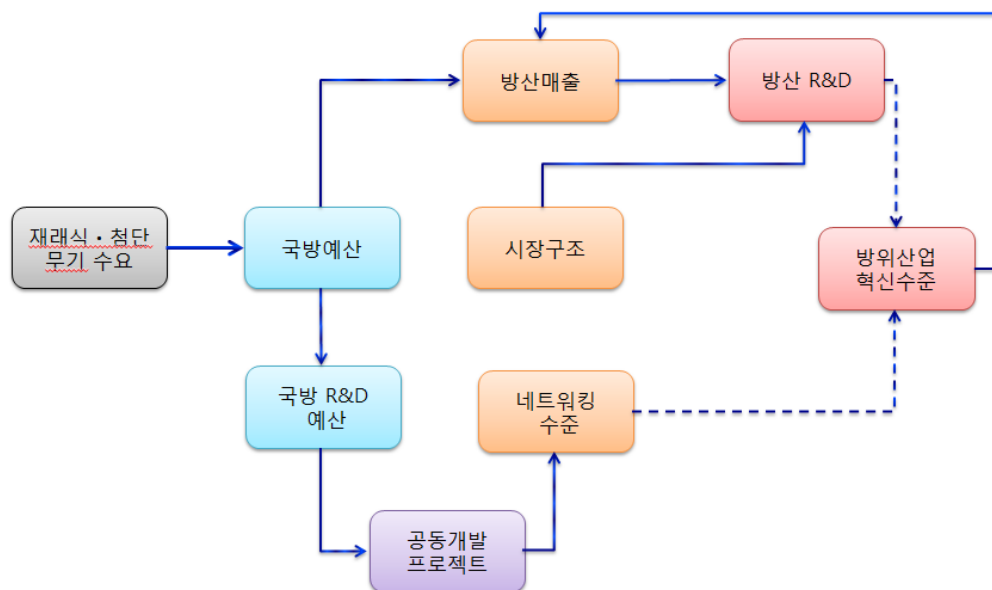
[그림 21] 방위산업혁신시스템의 통합인과지도

5. 방위산업 혁신시스템 시뮬레이션 분석

5.1 시뮬레이션 모형의 구조

본 연구에서는 방위산업의 혁신시스템에 대한 동태성 및 특성을 규명하기 위해 시스템다이나믹스 모델링 기법을 사용하였다. 시스템다이나믹스는 제시된 문제에 대하여 그와 직접 또는 간접적으로 관련된 변수들로 구성된 시스템을 정의하고 변수들간의 관계를 정량적으로 분석하여 모델화 한 후, 시뮬레이션을 통하여 시스템의 동적 특성을 밝혀내 문제를 해결하는 시뮬레이션 방법이다(정석재 외, 2007). 따라서 본 연구가 지향하는 방위산업 혁신시스템에 대한 특성과 이에 대한 동태성을 파악하는데 이상적이라고 판단되며 본 연구에서는 시스템다이나믹스 프로그램 중 Vensim을 이용하여 방위산업의 혁신시스템을 모델링하고 이를 분석하였다.

본 장에서는 Vensim을 이용해 구현된 방위산업 혁신시스템의 모델의 구조에 대해 개념적인 설명을 할 것이며, 세부 관계식은 [부록 1]에 수록하였다. 먼저 구체적인 세부 모델을 설명하기에 앞서 인과지도를 바탕으로 작성된 시뮬레이션 모형의 각 모듈 중 주요 모듈이 상호 어떻게 영향을 주고 받는지를 [그림 22]와 같이 도식화 하였다.

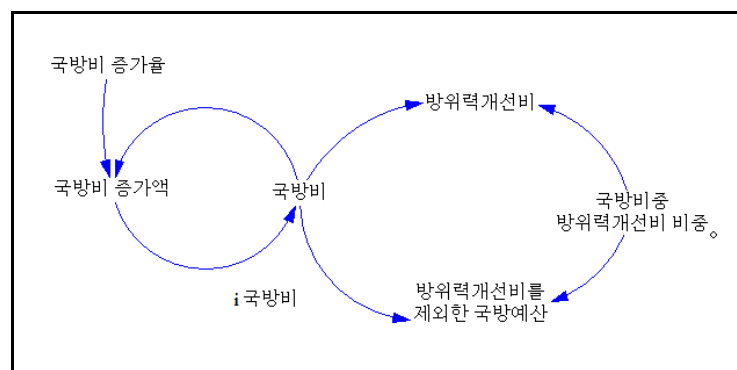


[그림 22] 방위산업 혁신시스템 저량-유량 흐름의 개념도

방위산업 혁신시스템의 저량-유량 흐름도는 크게 예산부분과 R&D투자 부분 그리고 혁신부분으로 구분할 수 있다. 먼저 예산부분에서 국방예산 규모는 재래식·첨단무기의 수요에 영향을 받게 되는데, 국방예산의 규모를 결정하는데 있어 무기수요에 따른 예산편성은 국방예산의 규모를 결정할 때도 반영되는 요소로서 실제 예산의 흐름도와 동일하다. 국방예산은 다시 국방 R&D와 방산매출로 나뉘지는데 먼저 국방 R&D예산은 정부주도 R&D의 활성화를 통해 정부-방위산업간 공동개발 프로젝트를 증가시키게 된다. 또한 방산매출은 국방예산에서 무기 구매에 따라 지출되는 예산을 의미하는데, 방산 R&D 투자는 방산매출의 규모에 영향을 받는다. 끝으로 혁신부분은 공동개발 프로젝트의 증가가 정부-방위산업간 네트워크를 활성화 시켜 방위산업의 혁신수준에 영향을 미치게 되는 흐름이며, 방산 R&D 투자를 통한 기술

수준의 향상 역시 방위산업 혁신수준에 영향을 미치게 된다. 또한 본 모델은 피드백 구조를 갖고 있기 때문에 방위산업의 혁신이 다시 방산제품의 매력도를 증가시켜 방산매출을 증가 시키게 된다. 저량-유량 흐름도에서 중요한 점은 모델의 입력값은 최초 초기값만 입력하고 이후에는 변수간 피드백 구조를 통해 도출되는 값이 다시 입력되어 영향을 미치게 된다.

본 모델에서 예산과 관련된 부분은 국방예산, 방위력개선비와 방위개선비 중 국방 R&D예산 및 국내 방산물자 구매를 위해 투입되는 구매예산 그리고 해외무기 구매를 위해 투입되는 예산이다.

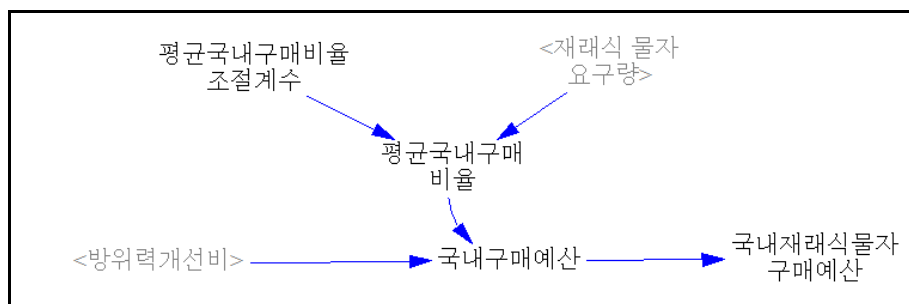


[그림 23] 국방예산의 저량-유량 흐름도

이 중 국방예산에 대한 저량-유량 흐름도를 보면 국방비는 2000년도 국방비(i 국방비)를 초기값으로 설정하고 1990년 이후 국방비의 평균 증가율 8.35%에 따른 증가분이 전년도 국방비에 추가되도록 모델링 되었다. 방위력 개선비는 국방비 중 방위력개선비의 비중에 따라 산출된 값으로 방위력개선비 비중은 1974년부터 2007년까지 34년간의 평균 비중인 32%로 설정하였

으며, 방위력개선비는 국내구매예산 및 해외구매예산의 규모를 결정하는 역할을 하게 된다. 모델에서 방위력개선비를 제외한 국방예산의 68%는 경상운영비에 해당하는데, 본 모델에서는 방위산업 혁신시스템에 영향을 미치는 예산을 방위력개선비로 한정하였기 때문에 경상운영비 자체가 모델 내에서 다른 변수에 피드백 되지는 않지만 예산 배분에 있어 방위력개선비와 상호 독립적 관계를 갖기 때문에 전체 모델이 단방향성으로 흐르는 것을 통제하는 역할을 하게 된다.

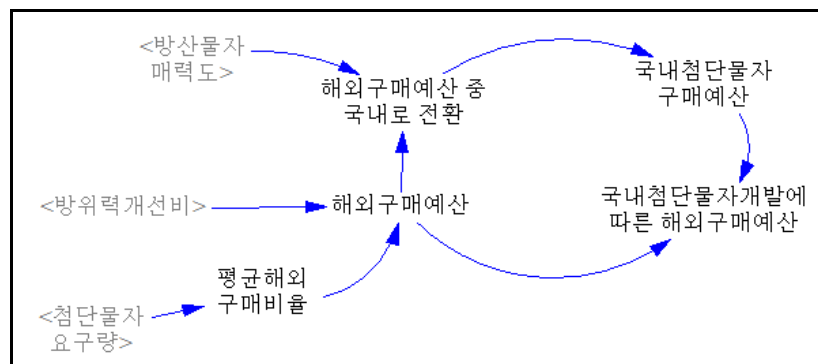
국방예산에 대한 저량-유량 흐름도에 대한 상호관계를 종합하면 국방비 및 방위력개선비는 지속적으로 증가하는 구조로 모델링 되어 있으며, 이러한 경향은 과거 실제 국방비 및 방위력 개선비의 예산흐름과도 일치한다. 다만 실제 국방비 및 방위력개선비 증가율의 경우 IMF 시기 및 대내·외적 경제 상황에 따라 일부 증가율의 변화가 있었으나, 본 모델에서는 이러한 경우를 반영하지 않았다.



[그림 24] 국내구매예산의 저량-유량 흐름도

앞서 국방예산에 관한 저량-유량 흐름도에서 방위력개선비는 크게 국내구

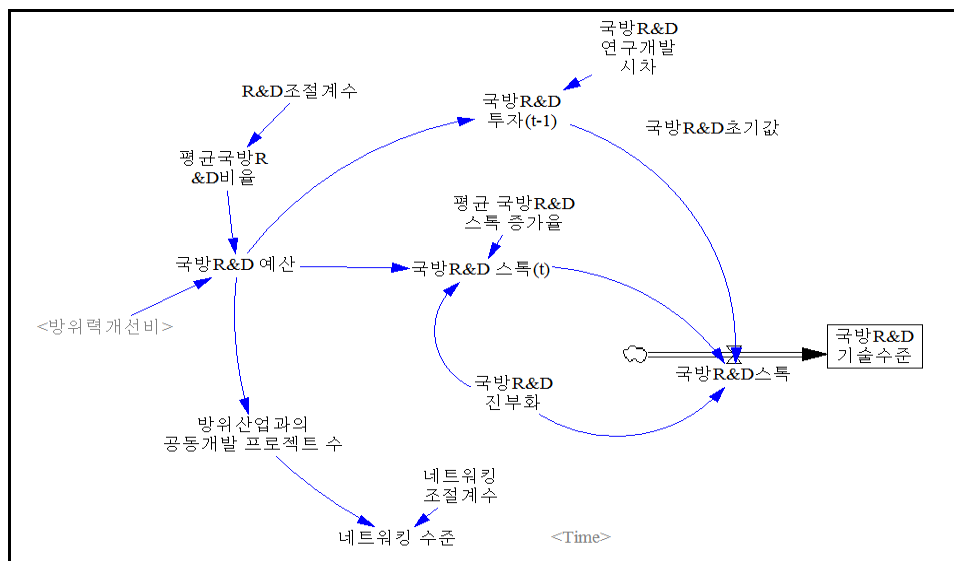
매예산과 해외구매 예산 그리고 국방 R&D 예산으로 구분하였다. 이 중 국내방위산업체의 매출과 직접적으로 관련되는 구매예산은 방위력개선비에서 국내방산물자구매를 위해 지불되는 평균국내구매비율에 따라 산출되도록 하였으며, 초기값은 방위력개선비의 50%로 설정하였다. 평균국내구매비율의 증감은 기본적으로 재래식물자 요구량 변수에 영향을 받게 되는데 재래식물자 요구량은 과거 재래식물자에 대한 수요의 흐름을 근거로 산출된 함수값이다. 그 외에 평균국내비율조절계수로 표현된 변수는 조절변수로서 자료에 근거하여 설정된 시뮬레이션이 아닌 설계자가 모델에서 임의로 변수의 값을 조정하기 위해 추가한 변수로 연구자에 의해 평균국내구매비율의 증감을 조절하기 위해 추가한 변수이다.



[그림 25] 해외구매예산 및 국내첨단무기 구매예산 저량-유량 흐름도

방위력개선비중 전력강화 차원에서 국내의 방산업체가 아닌 해외로부터 무기체계 등을 구매하기 위해 배정된 예산인 해외구매 예산은 과거 예산집행 자료를 바탕으로 최초 평균해외구매비율을 25%로 설정한 뒤 첨단물자

요구량에 따라 구매비율이 조절되도록 하였으며, 첨단물자 요구량은 과거 해외구매비율의 추세에 따른 현실적 상황을 고려하여 지속적으로 증가하는 형태를 갖는다. 따라서 평균해외구매비율은 기본적인 해외구매비율과 첨단물자 요구량이 합산된 비율로 정의할 수 있다. 본 모델에서는 해외구매예산이 지속적으로 증가하는 형태가 아닌 국내방산업체의 혁신성장에 따라 국내 무기체계의 매력도가 상승하고 이에 따라 해외구매예산이 국내첨단물자 구매예산으로 전환되어 다시 국내 방위산업체로 투자되도록 모델링 되었다. 이러한 모델구조는 국방 R&D 투자 효과에 따른 해외무기수입 대체효과(국방과학연구소 보고서, 2010; 박주현 외, 2003)를 반영한 결과 이다.

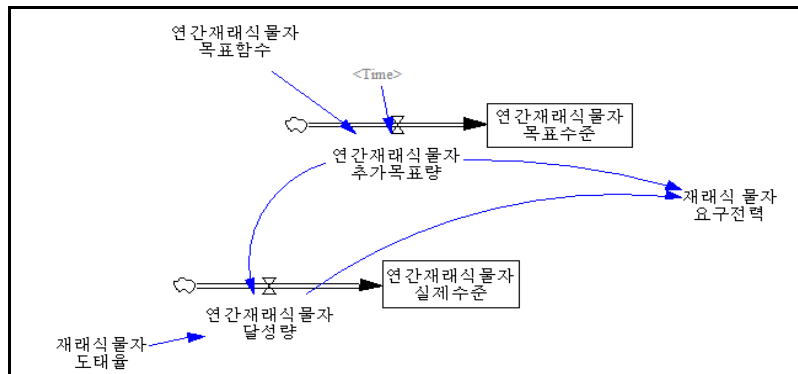


[그림 26] 국방 R&D 예산 및 R&D 스톡 저장-유량 흐름도

본 모델에서 국방 R&D 예산 역시 실제 예산구조와 동일하게 방위력개선비에서 지출된다. 국방 R&D 예산은 방위력개선비에서 평균 국방 R&D 비율을 통해 산출되는데, 2000년부터 2005년까지 방위력개선비에서 평균 국방 R&D 비율은 약 13.5%이며, 2006년 이후에는 국방 R&D 강화에 따라 16%가 반영되도록 하였다. 국방 기술수준은 매년 추가되는 국방 R&D 스톡에 따라 산출되는데, 국방 R&D 스톡은 Griliches(1979)의 산출식을 적용하였다. 또한 국방 R&D 스톡 산출을 위한 R&D 시차는 통합적 관점에서 통상 국방 R&D를 통한 무기체계의 양산 및 배치까지의 기간이 통상 평균 10년에서 15년이 소요된다는 점과 기존 연구결과(김재욱, 2005)에서 반영한 시차를 고려하여 10년으로 설정하였으며, 진부화율은 방위산업이 속한 산업군들의 평균인 20%를 반영하였다. 그리고 방위산업 내 각 분야별 R&D 스톡 및 기술수준을 산출하는데 있어서도 동일한 모델의 구조를 사용하였으며 다만 각 분야별 특성에 적합한 투입값을 반영하였다.

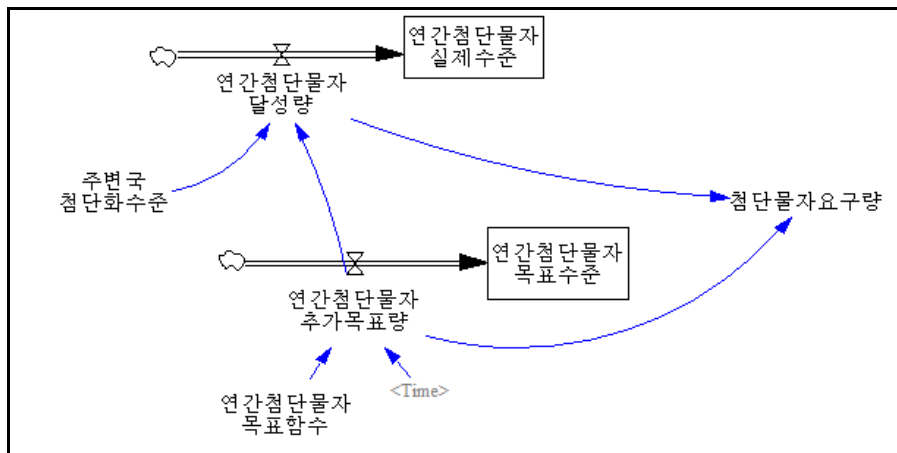
재래식·첨단물자 수요는 방위력개선비 중 국내구매비율 및 해외구매비율에 영향을 미치는 변수이다. 재래식물자 수요에서 연간재래식무기 추가 목표량은 연간재래식물자 목표함수에 따라 추가되도록 하였는데, 연간재래식물자 목표함수는 앞서 인과지도에서 설명하였듯이 시간에 따라 체감하는 형태의 함수이다. 연간재래식물자 목표수준은 국방계획에 따라 유지되는 재래식물자의 유지수준을 의미하며 연간재래식물자 추가 목표량의 누적된 값이다. 또한 연간재래식물자 달성량은 연간재래식물자 추가 목표량에서 재래식 물자 도태율에 따라 도태되는 양을 제외한 실제 연간 달성되는 재래식 물자의 달성

량을 의미하며, 여기서 도태율은 연간 20%로 설정하였다. 그리고 연간 재래식물자 실제수준은 연간재래식물자 달성량의 누적된 값으로서 해당연도에 실제 보유한 재래식물자 수준이라 할 수 있으며, 끝으로 재래식물자 요구전력은 앞선 연간재래식물자 목표수준과 연간재래식물자 실제수준간의 차이로서 이러한 차이에 따라 재래식물자에 대한 구매예산을 결정하는 국내구매비율이 결정되게 된다.



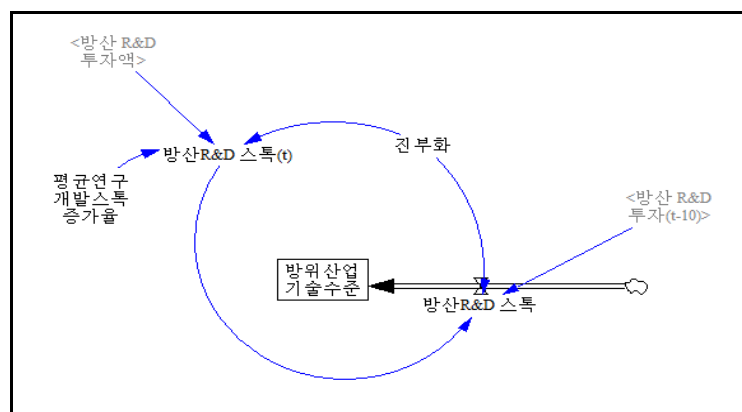
[그림 27] 재래식물자 수요의 저장-유량 흐름도

첨단물자의 수요는 기본적으로 재래식물자수요의 구조와 동일하다. 다만 재래식물자 달성량에 있어 도태율이 영향을 미치는데 비해 첨단물자의 연간 추가목표량은 대외적 변수인 주변국 첨단화 수준에 따라 추가 목표량이 결정된다. 이렇게 산출된 첨단물자 요구량은 평균해외구매비율에 영향을 미치게 된다.



Stamboulis et al.(2002)은 R&D 투자가 R&D 강도를 증가시키고 R&D 역량을 축적 시킨다고 평가하였으며, R&D 투자는 기술혁신을 가능하게 하는 요인이 된다((Teece et al., 1997). 이와 같은 관점에서 방위산업 매출과 R&D 투자간의 관계 그리고 다음에 설명될 방위산업 혁신부분의 저량-유량 흐름도를 모델링 하였다.

방산매출은 혁신성파로 인해 향상되는 수출성과와 국내재래식물자 구매예산 그리고 국내첨단물자 구매예산으로 구성된다. 이 중 국내첨단물자 구매예산은 앞서 설명한 혁신성파로 인해 첨단물자에 대한 자체 개발이 가능해지면서 해외에서 도입하던 첨단물자에 대한 국내 대체로 인해 발생한 매출을 의미한다. 방산매출($t-1$)은 전년도 대비 방산매출의 증가율을 산출하기 위한 변수이며 방산 R&D투자($t-10$)은 다음에 설명할 방위산업 기술수준을 산출하기 위한 R&D 스톡에 필요한 변수로서 연구개발시차에 따른 방산 R&D 투자 예산을 의미한다. 끝으로 방산 R&D 투자율에 영향을 미치는 시장경쟁조절계수는 전문화 및 계열화 제도 폐지에 따른 방위산업에 경쟁강도를 시뮬레이션 하기 위한 조절변수이다.



[그림 30] 방위산업 기술수준의 저장-유량 흐름도

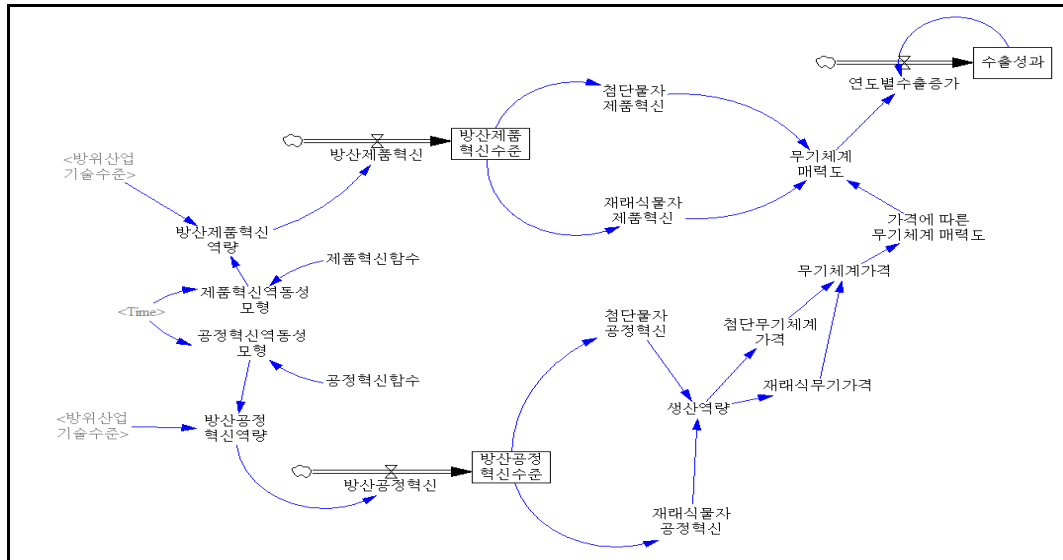
방위산업 기술수준은 R&D 스톡 산출식(Griliches, 1979; 한국은행, 2003; 신태영, 2004)을 저장-유량 흐름도로 표현한 모델이다. 해당모델은 통합적 관점 및 각 분야별 관점에서 각각 다른 투입값을 적용하여 기술수준

을 산출하였는데, 통합적 관점에서 평균연구개발 스톡증가율은 방위산업이 속해 있는 산업들의 평균값인 0.114를 적용하였고 진부화율은 20%로 설정하였다. 방위산업 내 각 분야별 특성을 반영하여 각 분야의 기술수준을 산출하는데 추가된 각 분야별 산업특성변수는 각 분야별 제품 및 공정혁신 활동 비율, 분야별 R&D 투자율, 내부 R&D 중요도, 외부 네트워크 중요도 등이다. 이렇게 각 분야별 특성변수의 차이에 영향을 받은 분야별 기술수준은 각 분야별 혁신활동에 영향을 미치게 된다.

앞서 설명한 방위산업의 R&D 투자는 혁신과정의 기본적 투입요소이고, 혁신은 생산성, 생산성의 향상, 그리고 경쟁력에 영향을 미치는 중요한 요소이다(Bozeman & Melkers, 1993). 방위산업의 혁신부문에 대한 모델 기본구조는 Stamboulis et al.(2002)와 Morecroft(1999)의 R&D 투자와 지식 축적 그리고 혁신역량간의 관계에 대한 연구 모형을 기반으로 하고 있으며, 개념적으로는 혁신을 위한 지식의 축적은 R&D 투자를 통해서 이루어지며 이러한 지식의 축적이 2가지 측면-R&D 투자를 통한 유입과 기술지식으로의 스톡-을 통해서 파생되는 구조이다(Kline & Rosenberg, 1996). 따라서 방위산업의 혁신 역시 직접적인 방위산업의 R&D 투자와 간접적인 국방 R&D 투자를 통해 축적된 기술수준에 영향을 받게 된다.

방위산업 혁신부문은 크게 제품혁신과 공정혁신 부분으로 구분할 수 있다. 이 중 제품혁신의 경우 방산물자의 매력도에 직접적인 영향을 미치며, 공정혁신은 방산물자의 가격을 통해 매력도에 영향을 미치게 되는 구조이다. 또한 이러한 매력도는 수출성가에 영향을 주게 되어 궁극적으로는 [그림 29]

의 방산수출액에 영향을 미치게 된다.



[그림 31] 방위산업 혁신부문 저량-유량 흐름도

5.2 모형 타당성 검증

본 연구에서 구현된 시스템다이나믹스 모델의 타당성 및 예측력은 다음과 같은 방식으로 검증하였다. 먼저 모델의 타당성은 시뮬레이션 결과와 실제 데이터간의 행태비교를 통해 검증하였으며, 예측력을 검증하기 위해서는 MAPE(Mean Absolute Percentage Errors) 검증을 실시하였고, MAPE 추정치는 다음과 같이 계산한다.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|y_i^P - y_i^A|}{y_i^A}}{N} \times 100$$

여기서 y_i^P 는 표본기간에 대해 모델의 측정값에 의해 예측되는 i 번째 내생 변수이며, y_i^A 는 i 번째 내생변수의 실제값이며 N 은 관측치의 수를 의미한다. MAPE 검증을 통해 산출된 값이 3% 이하이면 예측력이 뛰어나고, 5%이하이면 우수하며, 8% 이상이면 모델의 예측력을 신뢰할 수 없는 것으로 본다.

모델에서 검증은 국방비, 방위력개선비, 국방 R&D 비용, 방산매출, 방위력 개선비 중 국내구매 예산항목에 대해 실시하였으며 검증결과는 [부록 2]에 수록하였다.

먼저 시뮬레이션결과와 실제값과의 행태비교 결과 국방비와 국방R&D 그리고 국방비중 국내구매 부분에 대한 행태는 시뮬레이션 결과와 실제값이 거의 동일한 행태를 보이는 결과를 나타내었다. 방위력개선비는 앞선 국방비와는 달리 시뮬레이션결과와 실제값간의 행태가 다소 차이를 보이는데 이러한 이유는 2006년 방위사업청 개청이후 예산의 세목구조가 바뀌면서 발생한 현상으로 실제적인 예산의 차이는 없다. 마지막으로 방산매출부분의 행태 비교를 보면 2006년까지는 거의 동일한 행태를 보이다가 2007년 이후 시뮬레이션 결과와 실제값간에 차이가 발생하게 되는데 이는 해외정비소요 및 수출성파로 인해 매출이 증가했기 때문이다. 행태비교를 통한 모델검증에 대한 결과를 종합하면 해당모델은 비교적 우수한 수준의 신뢰도를 가진다고 할 수 있다.

MAPE를 통한 모델 신뢰도 검증 결과는 [표 30]과 같다. 결과에서도 알 수 있듯이 모든 항목의 예측력이 우수한 것으로 판정되었다.

[표 30] MAPE 검증결과

구 분	국방비	방위력개선비	국방R&D	방산매출	국내구매
MAPE결과	2.9%	4.4%	3.03%	4%	4.68%
신뢰도 판정	매우 우수	우수	매우 우수	우수	우수

주: 방위력개선비, 국내구매, 방산매출은 최대, 최소값을 제거하고 산출한 값임

5.3 시뮬레이션 시나리오

5.3.1 통합모형

통상 국방계획은 장기목표를 가지고 설정되는데 이에 따라 본 모델의 시뮬레이션 기간은 2000년을 기준으로 40년간의 기간에 대해 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 기간은 국방기본계획(2012~2030)과 기본계획기간 이후의 10년에 대한 기간을 고려하여 설정하였다. 본 모델의 투입변수는 기본적으로 연도별 투입변수를 근거로 하고 있기 때문에 시뮬레이션 결과 역시 연도별 동태적 변화를 의미하게 된다. 즉, 혁신의 원천이 되는 각 투입 요소의 값이 과거 연도별 데이터 값에 기초로 하여 모델에 반영되었기 때문에 결과 또한 연도별 변화를 의미하게 된다. 또한 방산물자의 도입이나 도태 계획 등도 분기 또는 월간 계획에 의한 집행보다는 연도별 계획에 의해 집행된다는 점에서 전체 시스템의 결과가 연도별 변화를 의미한다고 해도 무리가 없다.

본 방위산업 혁신시스템 모델 변수들간의 상호관계는 긍정적 효과와 부정적 효과를 내는 변수들이 공존하고 있다. 예를 들면 국방예산의 경우 방위산

업 혁신시스템에 영향을 미치는 방위력개선비와 경상사업비에 해당하는 국방예산(방위력개선비를 제외한)으로 나누어지게 되는데, 이 두 예산은 각각 미래를 위한 투자와 현존위협에 대한 즉시적인 대응을 위한 투자로 대립되는 성격을 가지고 있다. 즉, 방위산업 혁신시스템에 긍정적 또는 부정적 영향을 미칠 수 있는 요인들이 모두 반영되어 있다고 할 수 있다. 따라서 모델을 통한 결과가 나타내는 경향은 이러한 대립적인 성격을 가진 두 변수의 상호 균형관계(trade-off)에 따른 결과라 할 수 있다.

본 모델을 구조적 측면에서 보면 국방예산 중 방위력개선비에 해당하는 예산이 국내방위산업으로 지출되는 구조이며, 실제 이렇게 지출된 예산이 곧 방위산업의 매출로 이어지고 있다. 따라서 방위산업 R&D 투자가 감소되거나 또는 방위력개선비가 크게 감소되지 않는 이상 방위산업의 혁신은 지속적으로 증가하는 형태로 나타나게 된다. 이에 본 연구에서는 과거 데이터를 확인결과 방위력개선비의 모태가 되는 국방비가 GDP 중 차지하는 비율이 지난 30년간 대체로 일정하였으며, 규모적으로는 지속적인 증가 추세에 있음을 확인하였다. 또한 방위력개선비 역시 지속적인 증가추세를 유지하고 있는바 혁신의 기반이라고 할 수 있는 R&D 투자가 역시 연도별 증가폭의 차이는 발생 가능하지만 지속적으로 증가할 것이라는 가정하에 시뮬레이션을 진행하였다.

앞서 언급했듯이 본 연구의 시뮬레이션 기간은 2000년부터 2040년까지로 가정하였다. 이 중 2000년부터 2011년까지는 모델의 예측력을 검증하기 위해 의태분석(Back-casting)을 위한 시뮬레이션 기간이다. 또한 모델내에

서 입력된 변수들의 값의 일부는 실제 데이터를 바탕으로 하였고, 일부는 연구자의 사고를 가능한 한 배제하면서 인과지도를 시스템다이내믹스 모델로 변환시킬 수 있는 방법 중의 하나인 “기초관계 균등단위 모델링⁴ (Normalized Unit Modeling by Elementary Relationship, NUMBER)”을 이용하였다.

모델에서 일부 변수는 피드백 루프에서 시간지연이 발생하는데 이는 다음과 같은 이유에서 때문이다. 방위산업의 제품은 그 특성상 모듈별 중요성 보다는 통합된 시스템이 중요하며, 다품종 소량 생산되는 특징을 가지고 있다. 따라서 기존기술에 기반하고 있다고 해도 대체로 새로운 제품은 이미 안정성과 효과성이 확인된 부분에 속하는 일반적 또는 명목적 지식 부분을 제외한 대부분은 새로운 기술적 혁신에 기반하여 생산되기 때문에 비록 산업이 처음 시작하는 분야의 제품을 생산하는 것은 아니더라도 기본적으로 기술축적에는 시간지연이 필요하며, 방위산업의 R&D 스톡에 대한 타 연구(김재욱, 2005)에서도 R&D 스톡을 산출하기 위해 시간지연을 10년으로 설정하고 있다. 또한 시스템다이내믹스를 이용한 국가혁신체제에 관한 연구(윤진효 · 원동규, 2004)에서도 12년의 시간지연을 반영하고 있으며, 일본의 공적 R&D에 대한 연구(八木浩史, 2002)에서도 평균 8~10년의 시차를 두고 있다. 끝으로 일반산업의 기술혁신 동태성을 분석한 최강화 외(2006)에서도 해당 산업의 특성을 반영하여 R&D 투자의 성과가 나타나기 까지 시간지연을 반

⁴ “기초관계 균등단위 모델링”은 저량과 유량간의 관계를 모두 기초적인 관계로 설정하고, 이들 변수들의 측정단위를 0에서 1까지의 값으로 균등화 시키는 것이다(김도훈 외, 2000).

영하고 있다. 그리고 일반적으로 R&D 스톡의 산출에 있어서도 시간지연의 개념은 적용되고 있다. 예를 들어 현재 건조중인 호위함의 경우에도 많은 기술적 부분이 기존의 호위함을 기반하고 있지만, 무기체계 및 작전요구성능이 보다 폭넓어지면서 개발에서 배치까지 약 10년의 계획을 가지고 진행 중이다. 따라서 방위산업제품의 특성상 유사한 형태의 제품이라 하더라도 세대간 제품의 차이가 크기 때문에 시간지연은 반드시 필요하다고 할 수 있다.

시뮬레이션 분석을 위해 사용된 모델의 기본적인 가정은 다음과 같다. 현재 혁신시스템에서 기업규모에 해당하는 매출에 영향을 주는 국내구매비율의 초기값은 50% 수준으로 설정하였으며, 시장경쟁은 전문화·계열화 제도의 폐지에도 불구하고 여전히 독과점수준 상태인 것으로 가정하였다. 또한 네트워크 수준은 국방R&D 예산에 따라 프로젝트 수가 증감하는 하는 것으로 가정하였다.

지금까지 방위산업에 관한 정책은 방위산업 내 세부분야별 특성에 따른 정책보다는 ‘방위산업’이라는 통합적 관점에서 주로 집행되어 왔다. 따라서 방위산업 내 세부 분야별 특성이 반영되지 않은 채 특정산업에만 적합한 정책이 획일적으로 반영되었거나 또는 뚜렷한 방향성 없이 집행되었을 가능성이 크며, 통합적 관점에서 방위산업의 동태성을 살펴본다면 지금까지 방위산업이 통합적 관점에서 어떠한 방향으로 진행되어 왔는지 분석이 가능할 것이다.

앞서 설명한 각 모듈에서의 주요 변수에 대한 보조변수의 입력값을 종합하면 [표 31]과 같다. [표 31]의 보조변수는 통합적 관점에서의 방위산업

혁신의 동태성을 산출하기 위한 입력값이며, 방위산업 내 각 분야별 혁신의 동태성을 산출하기 위한 입력값은 [표 33]에 기술하였다.

[표 31] 주요 변수의 보조변수 값

변수명	입력값	출처
국방비(초기값)	14.4(조원)	국방부(2010)
국방비 연평균 증가율	8.35%	국방부(2010)
국방비중 방위력개선비 비중	32%	문종열(2008)
방위력개선비 중 국내구매 비율(초기값)	50%	문종열(2008)
방위력개선비 중 해외구매 비율(초기값)	25%	문종열(2008)
방위력개선비 중 국방R&D 투자 비율	13.5% / 16%(2006년 이후)	국방부(2010)
R&D 시차	10 years	김재욱(2005)
진부화율	20%	김재욱(2005)
연간 도태율	20%	방위사업청

5.3.2 세부혁신시스템

방위산업 내 각 분야는 분야별로 각기 다른 산업적 특성을 가지고 있다. 따라서 각 분야별로 반영되는 산업특성변수의 설정값 역시 차이가 존재한다. 본 장에서는 방위산업 내 각 분야의 혁신시스템에 대한 동태적 특성을 비교하기 위한 설정된 변수를 설명하고자 한다.

앞선 분류체계에서 분류기준으로 선정하였던 변수들 중 본 연구에서 방위

산업 내 각 분야의 기술혁신 동태성을 분석하기 위해 선정한 변수는 혁신여건, R&D 집약도, 지식기반에 해당하는 혁신활동의 특성 및 기술체제(기회성)의 차이이며, 그 외에 각 분야별 기술특성을 반영할 수 있는 R&D 시차 및 진부화율, R&D 투자율을 변수로 구성하였다.

[표 32] 기술혁신 및 산업별 특성 변수

구 분		보조변수
혁신활동 특성	혁신활동률	제품혁신활동 비율
		공정혁신활동 비율
	혁신활동 투자율	R&D 투자율
기술체제: 기회성	혁신기술 획득방법	내부 R&D 중요도
		외부 네트워크 중요도
산업별 특성		R&D 시차
		진부화율

본 연구에서는 방위산업의 각 분야별 혁신 시스템의 특성을 명확하게 설명하기 위한 변수의 기술특성 차이를 반영하였다. 먼저 기술체제에 있어서는 혁신원천의 중요도 차이를 반영하였다. 반영된 값은 송위진(2000)이 Pavitt(1984)의 분류에 따라 산업별 기술혁신 패턴을 비교 분석하였던 연구에서 내부 R&D와 외부네트워크의 중요도를 리커트 5점 척도로 조사한 결과를 사용하였다. 그리고 분야별 R&D 시차 및 진부화율은 방위산업의 일반적인 개발주기 및 김재욱(2005) 연구에서 사용한 값과 국감보고서에서 언급된 일반적 특성을 반영하였으며, R&D 투자율은 전체 방위산업 매출과 각 분

야별 신규 R&D 투자비율을 근거로 추정하였다. 끝으로 산업간 혁신율은 STEPI(2009)의 한국기업 혁신활동 조사 결과에서 총 4개 분야(제품, 공정, 조직, 마케팅)에 대한 각각의 혁신율을 제품 및 공정혁신의 2개의 혁신율로 비율을 조정하여 적용하였다.

[표 33] 분야별 주요 보조변수 값

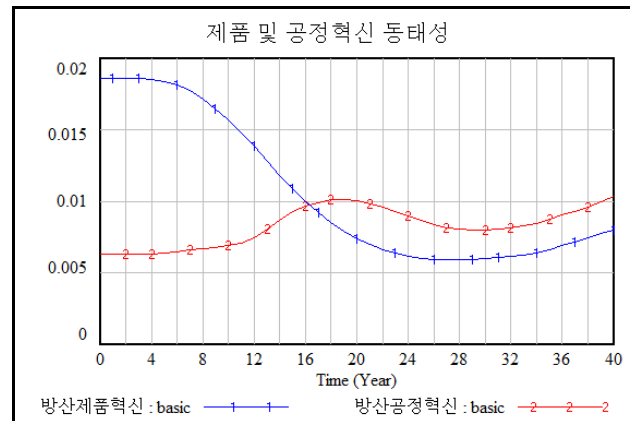
구 분	내부R&D 중요도	외부네트워크 중요도	R&D 시차	진부화율	R&D 투자율 (매출대비)	혁신율(%)	
						제품	공정
규모집약형	4.04	2.56	8년	10%	1.4%	44.8	55.2
과학기반형	4.08	2.79	10년	20%	4.6%	60	40

5.4 시뮬레이션 결과

5.4.1 통합모형

통합적 관점에서 방위산업의 동태성은 [그림 32]와 같다. 결과를 보면 제품혁신이 기술혁신의 과정에서 필요 또는 기술적 가능성에 의해 우선 활발히 일어나고, 이어서 양산단계에 이르러 공정혁신이 이루어지게 되는 전형적인 제품 및 공정혁신의 형태이다. 그러나 방산물자의 기술혁신은 일반제품과 달리 혁신적인 제품이라 해도 보다 까다로운 검증결과를 거친 후에 양산단계에 들어가기 때문에 일반적으로 제품혁신이 하강하는 시점에서 공정혁신이 증가하는 것보다는 늦게, 그리고 낮은 수준에서 공정혁신이 나타날 수 밖에 없는 특징을 가지고 있다. 이는 방산물자의 구매 성향이 필요한 방산물자에 대한 성능개량 보다는 첨단기술의 다른 제품으로 구매하는 성향이 강하고, 방

산물자에 대한 계약시스템이 원가보상제도에 기반하고 있기 때문에 공정혁신을 유도할 만한 요인이 약하다는 점과 일치한다.



[그림 32] 통합적 관점에서 방위산업 혁신시스템의 동태성

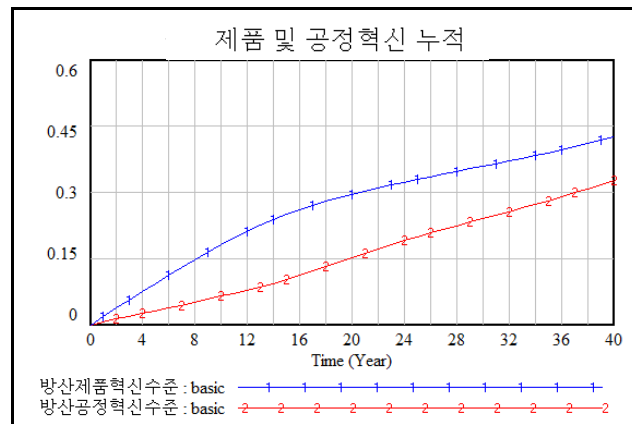
결과에서 혁신활동이 후반부에 다시 상승하는 형태를 보이는데 이는 혁신 사이클(innovation cycle)에 의한 효과로서 이것은 해당 모델이 피드백 구조를 가지고 있기 때문에 혁신활동으로 인한 이윤 발생이 R&D에 투자되어 다시금 혁신을 이끌기 때문이다. 따라서 기술혁신이 ‘연구개발투자→기술지식 축적→제품혁신→공정혁신→신제품/서비스생산→기업이익→기술혁신 재투자’로 연결되는 피드백구조(Utterback & Abernathy;1978, 최강화 외; 2006)의 형태를 비교적 잘 묘사하고 있다고 할 수 있다.

통합적 관점에서 방위산업 혁신시스템의 동태성을 앞선 Pavitt(1984)의 산업별 혁신특성 및 특성에 따른 분류기준에 따라 보면 대체로 대체로 규모 집약형 산업의 동태성과 유사하다고 할 수 있으나, 그렇다고 정확히 일치하

는 특성을 갖고 있다고 말하기에도 어려운 면이 많다. 그러나 확실히 과학기반형 산업의 특성과는 보다 큰 차이가 존재한다. 따라서 통합적인 관점에서 과학기반형 산업의 발전을 위한 전략과 정책들이 상대적으로 시행되지 않았다는 의미가 되며 결과적으로 현재 방위산업의 기술수준이 규모집약형 산업분야는 세계적인 수준에 이르렀지만 과학기반형 산업분야는 여전히 낮은 수준에 머물러 있는 결과로 이어지게 된 원인이라고 할 수 있다.

산업발전 측면에서 보면 방위산업은 이제 ‘유치기’를 벗어나 성장기에 진입했다고 할 수 있다. 하지만 정책측면에서는 여전히 70년대 보호·육성 중심의 ‘유치기’ 산업정책의 수혜를 받았던 규모집약적 산업분야에 맞춰져 있다고 할 수 있다.

제품 및 공정혁신의 누적은 제품 및 공정혁신 동태성이 각각 누적된 결과이다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 제품혁신수준은 초기 급격한 상승 이후 완만해지고 있으며, 이에 반해 공정혁신은 지속적인 상승을 하고 있는 형태를 가지고 있다. 따라서 시뮬레이션 기간을 통해서는 나타나지 않았지만 현재의 동태성을 미루어 짐작하면 결국 산업별 동태적 특성분석에서 보여지는 규모집약형 산업과 유사하게 제품 및 공정혁신이 비슷한 수준에서 증가할 가능성이 크다고 할 수 있다.



[그림 33] 통합적 관점에서 제품 및 공정혁신의 누적수준 동태성

5.4.2 세부혁신시스템 1: 규모집약형

산업혁신시스템 관점에서 방위산업의 동태성을 분석하기 위해 앞서 3장에서 방위산업을 세부분야별 특성에 따라 크게 비무기체계분야(피복 및 신발 등)는 공급자 지배형 산업으로, 함정 및 기동 분야는 규모집약형 및 전문공급자 산업으로 그리고 항공, 유도, 통신 및 전자 등의 분야는 과학기반 산업으로 분류하였다. 본 연구에서는 3개의 분야 중 2개 분야⁵에 대해 산업혁신시스템 관점에서 시뮬레이션 하고 분석하였다.

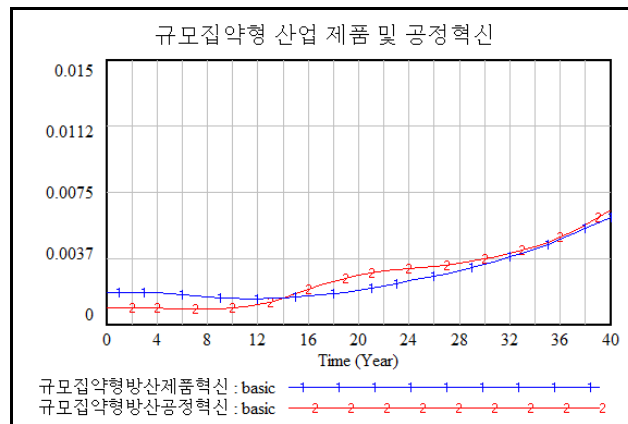
앞서서도 언급했듯이 그 동안 방위산업에 대한 분석은 ‘방위산업’이라는 큰 테두리에서만 다루어져 왔다. 따라서 본 연구에서는 세부분야별로 재분류된 방위산업의 각 분야에 대한 제품 및 공정혁신의 동태성 및 혁신의 누적수준 등의 시뮬레이션을 통해 방위산업의 각 분야의 특성을 분석해 보고자 한다.

⁵ 공급자 지배형 산업은 데이터가 불명확하여 제외하였으며, 규모집약형산업과 전문공급자형

일반적으로 산업별 제품혁신과 공정혁신의 동태적 특성은 각각 다르게 나타나는데 자동차, 철강, 조선, 가전, 메모리형 반도체 등의 산업들은 공정혁신 역량이 중요한 산업이며, 반면 첨단 금융이나 로직형 반도체, 소프트웨어 및 IT 제품의 산업은 제품혁신 역량이 중요한 산업이다(임성준, 2010).

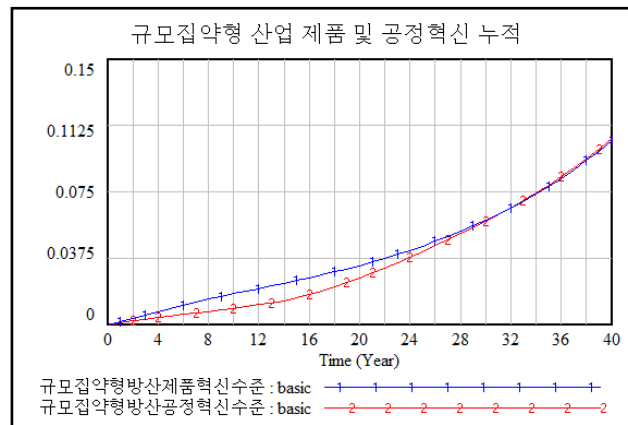
Pavitt(1984)의 연구결과에서도 식품, 금속, 조선, 자동차, 유리 및 시멘트 산업이 규모집약적 산업에 속하는 것으로 확인되었으며, 그 외 혁신 원천은 주로 내부 및 공급자에 의해 혁신이 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 기업의 규모가 대체적으로 크며 공정 및 제품혁신 모두에서 발생하지만 공정혁신의 비중이 상대적으로 높고 규모의 경제가 존재하는 산업적 특성을 가지고 있다. 규모집약적 산업이 공정혁신이 높은 이유는 대체로 공정혁신이 생산설비와 관련되어 생산설비에 내재화되어 발생하는 경우가 많기 때문이며, 따라서 자동차 및 조선산업의 생산품과 같이 사용자 측면에서 가격에 민감하고 따라서 기술궤적이 비용의 감소에 있는 산업에서는 공정혁신이 활발하게 발생하게 된다. 방위산업에서는 이러한 규모집약형 산업으로 함정 및 기동분야가 속하게 되며 해당 분야의 제품 및 공정혁신의 동태성은 [그림 34]와 같다.

산업은 규모집약형산업으로 통합하여 과학기반산업과 비교하였음.



[그림 34] 규모집약형 방위산업의 제품 및 공정혁신

방위산업에서 규모집약형 산업으로 분류된 함정 및 기동분야의 제품 및 공정혁신의 동태성을 보면 일반적인 규모집약형 산업의 동태적 특성과 비교적 유사하다. 제품 및 공정혁신 비교 시 공정혁신이 제품혁신보다 조금 더 활발하게 나타나고 있는데 이러한 동태성은 일반적인 규모집약형 산업의 특징과 동일하며 다만 제품혁신과 공정혁신 모두 다시 상승하는 형태를 보이는 것은 혁신사이클에 의한 효과가 다시 반영된 결과 때문이다. 통상 방위산업에서의 함정분야는 크게 플랫폼에 해당하는 선체와 무기체계와 같은 탑재장비로 구분되는데 이중 탑재장비는 주로 전자나 통신장비로서 특성상 과학기반형 산업에 속하며 순수하게 선체부분만이 규모집약형 산업에 속한다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 보면 기업규모면에서도 방위산업의 규모집약형 분야와 일반적인 분류상 규모집약형 산업간에는 유사점이 많다고 할 수 있다. 제품혁신 및 공정혁신의 누적측면에서 보면 규모집약형 방위산업에서는 제품 및 공정혁신이 동일한 수준에서 성장하는 것으로 나타났다.



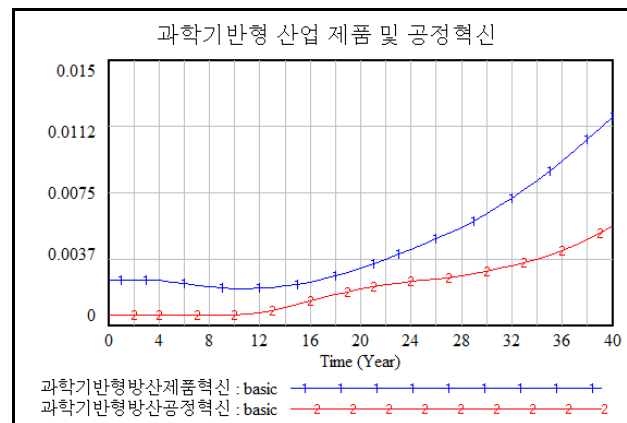
[그림 35] 규모집약형 산업의 제품 및 공정혁신 누적성

5.4.3 세부혁신시스템 2: 과학기반형

다음으로 과학기반형 산업에는 전자 및 화학과 같은 산업이 해당되는데 이들 산업은 혁신 원천이 내부 R&D 및 네트워크 통한 타 혁신주체와의 연계가 중요하고 제품혁신과 공정혁신 모두 높게 나타나지만 비교적 제품혁신이 높게 나타나는 특성을 가지고 있다. 방위산업에 과학기반형 산업에 해당하는 분야는 항공 및 유도, 통신, 전자 분야가 해당된다고 할 수 있으며 해당분야의 제품 및 공정혁신 동태성은 [그림 36]과 같다.

방위산업에서 과학기반형 산업으로 분류된 분야의 제품 및 공정혁신의 동태성은 앞선 규모집약형 산업의 동태성과는 차이가 있다. 먼저 과학기반형 산업의 동태성에서는 대체로 제품과 공정혁신 모두 상승하고 있는데 제품혁신의 경우에는 유동기, 과도기 그리고 경화기를 거친 이후 급격히 상승하는 동태적 특성을 보이고 있다. 이러한 특성은 과학기반형 분야의 혁신이 급진적 혁신의 성향이 있으며 혁신이 과거 혁신을 기반으로 한 진화적 특성을

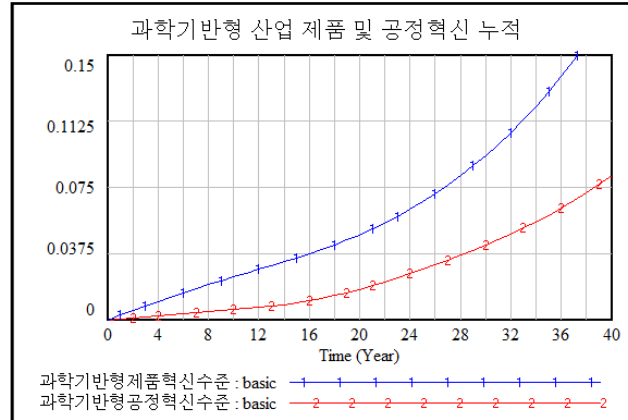
가지고 있음을 의미한다. 특히, 방위산업의 과학기반형 분야에서는 혁신이 점진적이지 않을 가능성이 높다. 그러한 이유는 과학기반 분야의 제품이 대체로 세대단위로 개발되며 세대간 간격이 비교적 넓기 때문이다.



[그림 36] 과학기반형 방위산업의 제품 및 공정혁신

시뮬레이션을 수행한 기간에서 과학기반형 분야의 제품 및 공정혁신 동태성을 보면 제품혁신이 공정혁신 보다 높은 수준에서 발생하고 있는데 이러한 결과는 일반적인 과학기반형 산업에서도 발견되는 특성과 동일하다고 할 수 있다.

산업혁신시스템 관점에서는 산업간 기술의 누적성 역시 차이가 있음을 견지하고 있다. 혁신의 누적성의 정도는 현재의 기술수준이 차기의 기술수준에 영향을 미치는 정도를 나타내는데 앞선 규모집약형 방위산업과 달리 과학기반형 산업의 경우는 제품혁신의 누적성이 높게 나타났다.



[그림 37] 과학기반형 산업의 제품 및 공정혁신 누적성

혁신의 누적성 측면에서 보면 규모집약형 산업은 제품 및 공정혁신이 비슷한 수준에서 증가하는 반면 과학기반형 산업은 제품혁신과 공정혁신간의 격차가 시간이 갈수록 벌어지는 것으로 나타났다. 규모집약형 방위산업제품의 경우 플랫폼 위주의 생산으로 제품 및 공정혁신을 동시에 달성할 때만 경쟁력 확보 가능하기 때문에 혁신활동의 누적측면에서도 제품 및 공정혁신 모두 중요하게 작용하는 반면, 과학기반형 방위산업제품의 경우 공정혁신을 통한 가격경쟁력의 확보도 중요하지만 무엇보다 제품에 대한 기술적 우월성과 안정성을 최우선으로 하기 때문에 공정혁신보다는 제품혁신의 누적성이 높게 나타나게 된다. 이러한 결과는 각 산업별 혁신의 지향점 차이와 산업별로 혁신에 미치는 요소간 차이에 기인하며, 따라서 각 산업별 지향점에 따른 정책이 요구된다고 할 수 있다.

5.5 결과해석

산업혁신시스템에서는 산업마다 다른 기술체제를 기반으로 하고 있으며 혁신주체 및 혁신주체간 네트워크 역시 산업마다 다르게 나타난다. 결국 이러한 차이는 산업마다 혁신을 유발하는 요소에 있어서도 차이를 가져오게 되며, 따라서 혁신을 통한 산업의 발전을 이끌어 내기 위해서는 각각의 산업이 지니고 있는 혁신 특성에 적합한 혁신전략을 시행하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 방위산업 각 분야별 혁신시스템의 혁신구성요소에 대한 민감도 분석을 통해 규모집약형 방위산업 분야와 과학기반형 방위산업 분야의 혁신에 있어 어떠한 혁신 구성요소가 해당 분야 혁신에 있어 보다 효과적인지를 확인하였다. 이와 같은 민감도 분석은 지금까지 방위산업의 분야별 특성을 고려하지 않고 시행된 방위산업 정책 및 제도적 처방의 효과가 각 산업분야마다 다를 수 있을 뿐 아니라 정책 및 제도의 변화를 가져오는 환경적 변화의 영향 역시 각 분야마다 다르게 작용하고 있음을 보여줄 수 있을 것이다. 이를 통해 각 산업분야의 혁신을 위한 최적 또는 최우선으로 고려해야 하는 요소들이 어떤 것인지를 식별할 수 있게 하여 각 산업분야별 특성에 따른 맞춤형 정책 수립을 가능하게 할 것이다. 특히, 본 연구에서는 방위산업을 구성하고 있는 다양한 요소들 중 산업혁신시스템 관점에서 방위산업 각 분야별 혁신구성요소에 따른 혁신의 차이를 식별하였으며, 이를 위해 혁신원천, 제도 및 정책, 환경에 따른 분야별 혁신변화를 비교하였다.

먼저 혁신원천에 따른 분야별 차이를 비교해 보면, 산업혁신시스템 관점에

서는 각 분야마다 혁신을 유발하는 원천이 산업별 특성에 따라 다르게 나타날 것이며, 방위산업의 각 분야에 있어서도 이러한 차이는 존재할 것으로 예상된다. 만약 방위산업이 Pavitt(1984)의 산업별 혁신특성에 따른 분류 특성을 따른다면 규모집약형 방위산업의 경우에는 외부네트워크의 영향이 크게 나타날 것이며, 반면 과학기반형 방위산업의 경우는 내부 R&D의 영향이 크게 나타날 것이다. 따라서 혁신원천에 대한 민감도 분석은 내부 R&D와 외부 네트워크로 구분하여 비교하였으며, 이 중 내부 R&D의 민감도 분석은 각 산업분야 별 내부 R&D 투자의 증가를 통해 그리고 외부 네트워크는 국방 R&D 투자 증가에 따른 공동개발 프로젝트의 증가를 통해 수행하였다. 민감도 분석은 각각 현재 R&D 투자보다 투자비율을 10% 증가했을 경우에 대한 각 분야별 혁신의 변화를 비교해보았다.

[표 34] 혁신원천 변화에 따른 혁신변화 비교

구 분	내부 R&D 투자		외부 네트워크 강화	
	제품혁신	공정혁신	제품혁신	공정혁신
규모집약형 산업	5.51% (↑)	5.74%(↑)	3.04% (↑)	3.49% (↑)
과학기반형 산업	7.19% (↑)	7.42%(↑)	3.05% (↑)	2.85%(↑)

결과에서 알 수 있듯이 각 분야별 혁신원천 변화에 따른 효과가 다르게 나타났다. 먼저 규모집약형 산업에서는 내부 R&D 10% 증가 시 제품혁신은 5.51%, 공정혁신은 5.74% 증가한 반면, 과학기반형 산업은 제품혁신은 7.19%, 공정혁신은 7.42% 증가하였다. 또한 외부 네트워크 강화에 따른 혁

신에 있어서는 규모집약형산업은 공정혁신이 높게 나타났으며 제품혁신의 경우는 두 분야간 차이가 거의 없었다.

이와 같은 결과를 통해 종합하면 산업마다 혁신을 위한 투입 효과가 각각 다르게 나타나고 있다는 점에서 각 산업별 혁신시스템이 다르게 작동하고 있다고 설명할 수 있을 것이다. 또한 과학기반형 산업은 내부 R&D 투자 그리고 규모집약형 산업은 외부네트워크 강화가 혁신에 보다 유효하다는 점에서 대체로 Pavitt(1984)의 혁신특성 분류를 따르고 있다고 할 수 있다. 그러나 두 가지 혁신원천 간 비교를 보면 모든 산업분야에서 내부 R&D 투자 확대전략이 외부 네트워크 강화전략보다 혁신에 있어 보다 효과적인 것으로 나타나는데, 이는 방산물자를 생산하는 방산업체의 방산물자 생산 전업도가 그리 높지 않은 현실에 비추어 봤을 때 우리나라방위산업 혁신시스템이 방위산업 내 각 분야의 산업적 특성을 고려하지 않은 채 모두 동일한 정책으로 집행되어 왔으며, 이러한 동일한 정책방향에 따라 각 분야의 혁신 시스템 역시 유사하게 형성되었기 때문으로 해석할 수 있다. 더불어 혁신활동 측면에서도 모든 분야에서 공정혁신이 보다 탄력적으로 증가하고 있다는 점에서 산업의 발전을 위한 지향점-규모집약형은 공정혁신, 과학기반형은 제품혁신-의 차이에 따른 산업 내 구조적 변화가 요구되고 있음을 의미한다. 또한 과학기반형 산업에서 내부 R&D 투자 보다 외부네트워크를 통한 혁신의 비율이 낮은 것은 우리나라 방위산업의 네트워크가 불균형하다는 의미도 될 수 있을 것이며 이러한 해석은 앞서 국방 R&D가 국방과학연구소를 중심으로 이루어져 왔다는 사실과도 일치하는 결과이다.

두 번째는 제도와 정책변화에 따른 민감도 분석이다. 먼저 혁신시스템 이론에서 제도는 혁신에 많은 영향을 미친다. 특히 방위산업과 같이 시장보다는 비시장적 요인에 따라 산업의 성장과 발전이 좌우되는 경향이 강한 산업의 경우에는 제도에 따른 영향이 더욱 크다고 할 수 있다. 방위산업 혁신에 영향을 미치는 여러 제도가 있지만 많은 연구자들은 방위산업의 혁신을 저해한 요인으로 2009년에 폐지된 전문화·계열화 제도를 꼽고 있으며 대체로 이러한 의견에 공감하고 있다. 따라서 방위산업 역시 시장구조와 혁신성과 간의 관계는 경쟁강도가 높아질수록 혁신성고가 높아질 것이라고 예상되며, 이러한 혁신성고는 보다 경쟁이 치열한 과학기반형 산업이 규모집약형 산업보다 크게 나타나게 될 것이다.

[표 35] 제도 변화에 따른 혁신변화 비교

구 분	기본대비 증가율		연평균증가율	
	제품혁신	공정혁신	제품혁신	공정혁신
규모집약형 산업	9.60% (↑)	9.75%(↑)	2.78%(↑)	4.77%(↑)
과학기반형 산업	12.91%(↑)	13.42%(↑)	3.46%(↑)	5.23%(↑)

민감도 분석 결과 과학기반형 산업이 규모집약형 산업에 비해 경쟁강도 증가시 혁신이 높게 유발되는 것으로 나타났으며, 각각의 연평균 증가율에 있어서도 과학기반형 산업이 규모집약형 산업에 비해 높은 증가율을 보이는 것으로 나타났다. 경쟁강도에 따른 혁신활동의 변화 비교를 통해서도 산업마다 효과가 다르게 나타나고 있으며 비교적 해당 산업의 특징을 잘 반영하고

있음을 알 수 있다. 그러나 민감도 분석 결과에 따라 규모집약형 산업의 경쟁을 강화하는 것이 반드시 신규업체의 진입을 의미하는 것은 아니며 실제 함정과 같이 대규모 플랫폼 위주의 산업은 신규업체의 진입에 여러 제약이 존재한다. 따라서 전문화·계열화와 같이 특정업체에 특정방산물자의 생산을 독점적 할 수 있도록 지정했던 제도의 폐지만으로도 유사 업체의 해당분야의 진입을 유도할 수 있으며 이를 통해 경쟁을 유발 할 수 있다. 실제로 기존에 특정방산물자를 생산하던 업체의 경우 신규발주에서 새로운 경쟁업체에 밀렸음에도 불구하고 신규발주 방산물자와 관련된 기술을 습득하기 위해 자체 비용으로 연수를 실시한 사례를 통해서도 방위산업에서의 경쟁도입은 효과가 있다고 보는 것이 맞다고 볼 수 있다.

다음으로는 정책적 변화에 따른 각 분야별 혁신의 동태적 변화에 대해 살펴해보았다. 정책적 변화는 국가 자원배분의 의사결정과 관련된 민감도 분석으로서 Hansen et al.(1999)은 국방부와 같은 공공기관의 경우 현재의 역량을 지탱하는 것과 미래 역량을 확보하는 것 사이에서 결정을 하는 것이라고 하였다. 따라서 본 모델에서 정책적 변화는 국방개혁에 따라 군 구조가 과거 인력중심에서 첨단무기 중심으로 변모해 갈 것을 가정하여 국방비에서 경상사업비 비중이 줄고 반면 방위력개선비의 비중이 증가하였을 경우에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 모델에 반영되어 있는 방위력개선비의 초기비율은 국방비에서 32%인데, 국방부에서는 이를 중기계획인 2017년까지 현재 방위력개선비 대비 약 10% 정도 증가시킬 계획을 가지고 있다고 발표하였다. 이러한 계획을 반영하여 방위력개선비의 비중을 35%로 가정하고 시물레

이전을 수행하였다.

[표 36] 정책 변화에 따른 혁신변화 비교

구 분	기본대비 증가율		연평균증가율	
	제품혁신	공정혁신	제품혁신	공정혁신
규모집약형 산업	12.75% (↑)	12.80%(↑)	4.92% (↑)	7% (↑)
과학기반형 산업	15.07% (↑)	15.04% (↑)	8.08% (↑)	5.98% (↑)

민감도 분석 결과 앞선 제도의 결과와 동일하게 분야간 비교에 있어서는 규모집약형 산업에 비해 과학기반형 산업이 정책변화에 보다 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 그러나 앞선 경쟁제도 도입 시 모든 결과에서 공정혁신이 제품혁신에 비해 높게 나타났던 것에 비해, 규모집약형 산업에서는 공정혁신이 그리고 과학기반형 산업에서는 제품혁신이 보다 탄력적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 연평균 증가율 측면에서도 동일한 성향이 나타났다. 이러한 결과는 방위력개선비의 증가가 결국 방위력개선사업의 방향에 있어 첨단무기 위주의 과학기반형 산업을 중심으로 이루어지게 됨을 의미하며, 반대로 병력에 비례하는 재래식 무기의 소요가 감소하게 되어 그만큼 혁신을 유도할 만한 요인이 감소되는 것이라고 할 수 있다. 즉, 앞선 제도적 변화가 단순히 산업의 발전방향을 바꾸지는 못한 채 단순히 산업의 전체적인 발전만 가져왔다면, 정책의 변화는 방위산업혁신시스템의 발전방향을 변경시키는 효과가 있다고 할 수 있다.

마지막으로 방위산업에 영향을 주는 가장 큰 요인 중 하나는 바로 대외정

세의 변화이다. 대외정세의 변화는 무기에 대한 수요의 변화를 불러오고 방위사업의 방향을 변화시키는데, 대외정세의 영향 중 주변국의 군비증강계획은 실제적인 전쟁이전 단계에서 가장 큰 위협이자 환경적 변화라고 할 수 있다. 이러한 대외환경의 변화에 따른 방위산업 혁신시스템의 변화를 보기 위해 주변국의 첨단화 수준에 따른 민감도 분석을 수행하였다. 주변국 첨단화 수준은 직접적으로 산출하기 어렵기 때문에 자국 방산물자의 상대적 노후화에 따른 첨단물자 요구량이 10% 증가하였을 경우에 대하여 산출하였다.

[표 37] 대외정세 변화에 따른 혁신변화 비교

구 분	기본대비 증가율	
	제품혁신	공정혁신
규모집약형 산업	2% (↑)	0.05% (↑)
과학기반형 산업	1.51% (↑)	1.15 % (↑)

민감도 분석 결과 대외정세 변화에 따른 상대적 노후화 심화시 제품혁신에 대한 혁신활동이 공정혁신에 비해 크게 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 증가폭은 앞서 다른 민감도 분석을 수행하였던 항목에 비해 크지 않았다. 특히 민감도 분석시 대외정세 변화에 따른 해외구매비율의 증가가 약 11.8% 증가한 것에 비해 상당히 낮은 수준의 증가만이 이루어졌다. 이러한 결과는 다음과 같은 측면에서 중요한 시사점을 준다. 먼저 대외위협에 대한 대응정책 중 조기전력화 정책은 방위산업의 발전을 가져오지 못한다는 것이며, 이와 같은 결과는 이미 서혁·명건식(2007)의 연구결과에서도 도출되었

던 결과와 동일하다고 할 수 있다. 특히 기술적 기반이 취약한 국내 방위산업의 특성상 조기전력화 정책은 해외구매에 대한 의존도를 증가시켜 방위산업의 경쟁력을 약화 시킬 가능성이 높다는 것을 보여준 결과라 할 수 있다.

시뮬레이션 결과를 통한 분석은 아니지만 각 산업별로 수출성과 측면에서도 동태성에도 차이가 있음을 알 수 있다.

‘00년부터 ‘06년 평균 방산수출 규모는 2.26억 달러 수준이었으나, 첨단 무기체계의 수출 성과로 인해 2004년 4.2억 달러, 2008년 10억달러 그리고 2010년에는 약 12억 달러의 수출 증대 효과가 나타나게 되었다. 이러한 기간 중 수출 품목을 보면 KT-1, K-9자주포, K-2 전차 등 이다. 이러한 수출 품목의 면면을 보면 KT-1은 개발결정에서 양산 단계까지는 11년 그리고 본격적인 수출 성과가 나타나기까지는 20년의 기간이 소요되었으며, K-9자주포는 체계개념연구에서 전력화까지 10년, 최초 수출까지 12년 소요되었다. 또한 K-2전차의 경우 개발기간만 12년 등 대부분의 제품이 일정기간의 R&D 투자를 통한 기술축적 이후 적극적인 수출전략에 의해 수출이 성사되었다.

방산제품, 특히 무기체계 특성상 한번 수출이 성사되면 비교적 규모가 크며, 대체로 수출이 완제품과 더불어 부품 및 수리 정비까지 수출되기 때문에 큰 규모로 장기간 유지된다. 또한 한번 수출이 성사되면 기반시설과의 연계로 인해 기존의 변경이 쉽지 않은 바 장기간 수출이 가능한데, 실제로 터키에 수출한 K-9 자주포의 경우 2001년 최초 수출을 시작하여 2011년까지 지속적으로 수출하였다. 실제 수출실적을 보면 방산제품의 수출 특성이 보다

잘 나타나는데 인도네시아와 터기에 KT-1과 K-9 자주포가 수출되었던 2001년의 방산수출액은 전년대비 약 3배의 증가하였으며, 2004년도에도 인도네시아에 대형 상륙함 수출에 따라 전년대비 1.5배 증가한 수출실적을 나타냈다. 또한 2007년에는 터기에 KT-1 수출에 힘입어 전년대비 3배의 수출성과를 나타내었다. 따라서 방위산업을 통해 생산되는 방산제품, 특히 무기체계와 같이 기술을 기반으로 한 제품은 점진적인 수출증가보다는 급진적인 수출이 발생할 가능성이 높다고 할 수 있다.

6. 결론

6.1 연구결과 요약

본 연구는 방위산업 혁신시스템의 특성을 혁신시스템 관점에서 분석하였으며 또한 이를 시스템다이내믹스의 인과지도 및 저장-유량 흐름도를 통해 식별·분석하였다. 특히 본 연구에서는 방위산업을 산업적 특성에 따라 분류하고 각 산업별 동태적 특성을 규명하였으며, 더불어 통합적 관점에서 방위산업의 동태적 특성 분석을 통해 방위산업의 정책의 방향이 어떤 산업적 특성에 집중되어 수행되었는지를 규명하였다. 이와 같은 분석을 통해 방위산업의 발전을 위한 정책적 함의를 도출하였으며 인과지도 및 저장-유량 흐름도를 통해 식별된 방위산업 혁신시스템의 특성은 다음과 같다.

첫째, 혁신시스템의 구성요소 별 특성에 있어 방위산업은 기술체제의 특성은 기회성 측면에서 방산제품을 구성하는 각 모듈별 기회성은 높은편이나 통합시스템 측면에서는 낮은 기회성을 갖고 있는 구조이며, 높은 기술적 요구수준과 전유성 그리고 누적성을 가지고 있는 산업이다.

혁신주체로는 정부, 국방과학연구소, 국내·외 방위산업체를 들 수가 있으며 대학 및 타 연구기관의 참여가 미미한 반면 해외방산업체의 중요도가 높은 구조이다. 또한 네트워크는 불균형한 상태이며 주로 정부기관을 중심으로 한 단방향성을 갖고 있는 형태로서 상호작용적 학습 보다는 일방적 지도에 의한 학습의 경향이 보다 강하다. 마지막으로 제도 및 환경적 측면에서는 국방조달정책 등 비시장적 요인에 영향력이 매우 강하게 작용하고 있으며, 외

부환경적 여건으로는 대내적 영향 보다는 대외정세가 혁신시스템에 영향을 미치고 있다.

둘째, 통합적 관점에서 방위산업의 동태성은 규모집약형 방위산업의 동태적 특성과 비교적 유사한 형태를 갖고 있으나, 이 또한 정확히 일치하는 수준은 아니었으며, 다만 과학기반형 분야의 동태적 특성과는 확연한 차이를 보이고 있어 여전히 70년대 보호·육성 중심의 ‘유치기’ 산업정책의 수혜를 받았던 산업분야에 맞춰져 있다고 할 수 있다. 이러한 결과는 방위산업 내 각 분야별 발전에 있어 불균형이 나타나게 된 근본적 원인으로 작용한다고 할 수 있다.

셋째, 방위산업을 세부분야 별로 분류하고 각 분야의 동태적 특성을 확인한 결과 방위산업 내 각 분야별 동태적 특성에는 확연한 차이가 있었다. 혁신활동 측면에서 규모집약형 산업은 공정혁신이 미미하지만 제품혁신에 비해 조금 더 활발한 것으로 나타났으며, 과학기반형 산업의 경우에는 제품혁신의 비율이 월등히 높게 나타났다.

넷째, 방위산업의 각 분야별로 혁신의 투입 및 제도의 효과가 각각 다르게 나타났다. 내부 R&D의 투입의 경우 과학기반형 산업에서 보다 많은 혁신이 유발되는것으로 나타났으며, 외부네트워크의 경우 제품혁신은 과학기반형 산업, 공정혁신은 규모집약형 산업에서 높게 나타났다. 제도적 측면에서는 경쟁도입 시 규모집약형 산업에 비해 과학기반형 산업의 혁신이 보다 높게 유발되는 것으로 나타났으며 혁신활동별로는 공정혁신이 보다 활발해지는 것으로 나타났다.

종합하면 방위산업 혁신시스템에도 방위산업만이 가지는 특성이 존재하며, 방위산업 내 각 분야별로도 각기 다른 혁신의 동태적 특성을 가지고 있었다. 또한 통합적 관점에서 방위산업 동태적 특성은 규모집약형 방위산업의 특성을 갖는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 식별된 방위산업 혁신시스템의 각 분야별 특성은 각국의 방위산업과 관련된 제도적 유사성을 통해 일반화가 가능하며, 방위산업을 하나의 혁신시스템 관점에서 논의할 수 있는 근거가 된다. 전세계 방위산업의 중심이라 할 수 있는 미국, 프랑스, 이스라엘, 영국 등 의 방위산업의 구조적 형태를 보면 대체로 유사한 형태와 기능을 가진 조직들을 보유하고 있음을 알 수 있다. 미국은 국방고등연구원(DARPA)를 두고 국방 R&D를 총괄하고 있으며, 프랑스는 병기본부(DGA)라는 기관을 두고 모든 방산프로그램의 운영 및 시험·평가 연구개발 및 수출 등을 관리감독하고 있다(Eliassen, 2002). 또한 영국은 국방연구기관(DERA)이 국방 R&D 정책을 총괄하여 추진하고 있다. 즉, 방위산업과 이와 관련된 국방 R&D에 있어서 정부 및 제도적 영향력이 크다는 공통점을 가지고 있으며 이러한 공통점이 방위산업을 하나의 섹터로 규정할 수 있는 기준이 될 수 있다.

방위산업에 관한 각 분야별 특성에 있어서도 각 국가별 유사성이 발견된다. 방위산업의 각 분야별 특성에 관한 연구(Peter et al., 2002)에서 미국 함정산업을 규모가 크고 복합적 기능을 가진 함정을 건조하는 규모집약적 산업으로 언급하고 있으며, CRA(2010) 보고서에서 미국의 항공방위산업의 혁신의 특성을 분석한 결과 혁신의 규모나 복잡성이 점점 더 커지고 있다고

분석하고 있다. 또한 새로운 시스템 또는 모듈과의 결합을 통한 제품혁신이 보다 다양한 영역에서 발생하고 있다고 분석하고 있다. Buys (2006)가 남아프리카 공화국의 방위산업과 관련된 산업들의 혁신활동에 대한 분석 결과를 보면 전기 및 광학분야의 제품혁신 비율이 타 분야에 비해 월등히 높은 반면, 공정혁신은 전기 및 광학분야와 운송장비 간 큰 차이가 없음을 보여 주었다. 이러한 연구결과들과 본 연구의 결과를 비교해 볼 때 대체로 각국의 방위산업 분야별 특성과 본 연구에서 분석한 우리나라의 방위산업 특성이 유사함을 알 수 있다. 그 외에도 방위산업의 선진국이라 할 수 있는 미국의 방위산업 또는 국방 R&D 발전전략을 보면 첨단분야와 일반분야의 산업적 특성을 고려하여 별도로 개발프로그램을 운영하고 있으며 이러한 프로그램은 국내에서도 동일하게 적용되고 있는데, 특히 제품혁신이 활발한 첨단 제품에 대해 ATD(Advanced Technology Demonstrations, 신기술시범사업), ACTD(Advanced Concept Technology Demonstrations, 신개념기술시범사업)의 방법을 활용을 통해 지속적인 제품혁신을 유도하고 있다.

6.2 정책적 시사점

본 연구를 통해 확인된 방위산업 혁신시스템의 특성에 따른 정책적 시사점은 다음과 같다. 먼저 방위산업의 발전을 위한 정책에 있어 각 분야별 특성에 따른 차별화된 맞춤형 전략이 요구된다는 점이다. 연구결과를 통해 방위산업 내 각 분야별 혁신의 동태적 특성에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 각 분야별 혁신시스템의 특성에 맞는 정책이 수립될 때 균형 있

는 발전을 가져올 수 있을 것이다. 또한 통합적 관점에서의 방위산업의 동태적 특성은 방위산업 초창기 육성했던 규모집약형 산업의 동태적 특성과 유사한 것으로 나타났다. 이것은 현재 방위산업 정책방향이 여전히 방위산업 육성초기 시행했던 정책의 방향과 큰 변화 없이 유지되고 있음을 의미한다. 따라서 통합적 관점에서도 성장기에 접어든 방위산업에 적합한 정책으로의 전환이 요구된다고 할 수 있다. 특히, 방위산업 육성초기 외국기술을 도입·개량 하던 추격자를 넘어 혁신의 선도자로 전환하기 위해서는 방위산업 내 각 산업분야에 적합한 전략이 필요하며 다음과 같이 제안한다. 기술적 성숙도가 높고 기술복합도 및 보안성이 높은 규모집약형 산업의 경우 이미 오랜 기간 방위산업에 참여하고 있기 때문에 보안적 부분에서도 충분히 검증받은 바 민간영역 중심으로 R&D가 수행될 수 있도록 해야 한다. 이를 위해서 먼저 경쟁을 유도하고 민간 영역에서의 R&D 투자가 보다 활발히 이루어질 수 있도록 제도적 지원을 강화해야 할 것이다. 특히, 규모집약적 산업의 기술력은 이미 선진국 수준에 근접해 있는 바 R&D 정책에 있어서도 규모집약형 산업에서 생산되는 제품의 특성, 즉 공정혁신을 통한 원가절감 및 가격경쟁력 확보가 무엇보다도 중요한 경쟁요소라는 점에서 공정혁신을 통해 원가절감을 유도해 내기 위한 정책적 지원의 마련이 요구된다. 이를 위해서 산업적 특성을 고려한 원가절감 인센티브 제도의 도입 확대가 요구된다. 더불어 규모집약형 방위산업의 경우 경쟁의 구조가 신생기업의 진입을 늘리기 쉽지 않은 구조이다. 따라서 현재 산업 내 혁신주체간의 자발적인 경쟁을 유도하기 위한 정책이 필요할 것이다. 이러한 점에서 듀얼소싱(Dual-

sourcing)⁶ 또는 세컨드 소싱(Second-sourcing)⁷과 같은 전략의 도입을 통한 자발적 경쟁구도 및 민간영역에서의 R&D 확대 유도정책 또한 고려해 볼만한 정책이라고 할 수 있다.

다음으로 기술적 성숙도가 낮고 복잡도 및 보안성이 높은 과학기반형 방위산업의 경우 생산되는 제품의 특성에 따라 구분된 정책이 필요하다. 과학기반형 방위산업의 경우 기술적 복잡도가 높다는 점에서 연구개발에 막대한 비용이 소요된다. 따라서 연구개발의 투자 효율성을 제고하고 정부 부처나 혹은 민수·국방 등 사업 분야별로 중복 투자를 예방하기 위해서는, 고도의 보안이 요구되며 외부로부터 지식의 습득 및 축적의 기회가 제한되고 비교적 장기간의 R&D 투자가 요구되는 전략적으로 중요한 부품은 기존과 같이 국방과학연구소를 중심으로 R&D를 진행하고, 그 외 민간영역에서의 활용도가 높으며 비교적 상용화가 용이한 분야는 민간영역에서 전담하여 R&D를 수행하여 효율성을 높이고 상호교류 및 네트워크를 통해 시너지 효과를 창출할 수 있도록 해야 할 것이다. 이를 위해 핵심기술을 전략적 중요도 및 목적 및 기능별로 분류하고 각각의 특성에 따른 혁신주체의 선정을 통해 기술을 확보하는 전략을 수립해야 할 것이다. 특히 과거 보안상의 이유로 미공

⁶ 개발초기에 최초계약자뿐 아니라 서브계약자를 동시에 선정하는 계약형태로서 서브계약자는 기술을 이전하는 하청형태가 아니라 자신의 기술력을 이용하여 생산의 일부분을 위임 받아 생산하는 형태(William B.B., 1987)

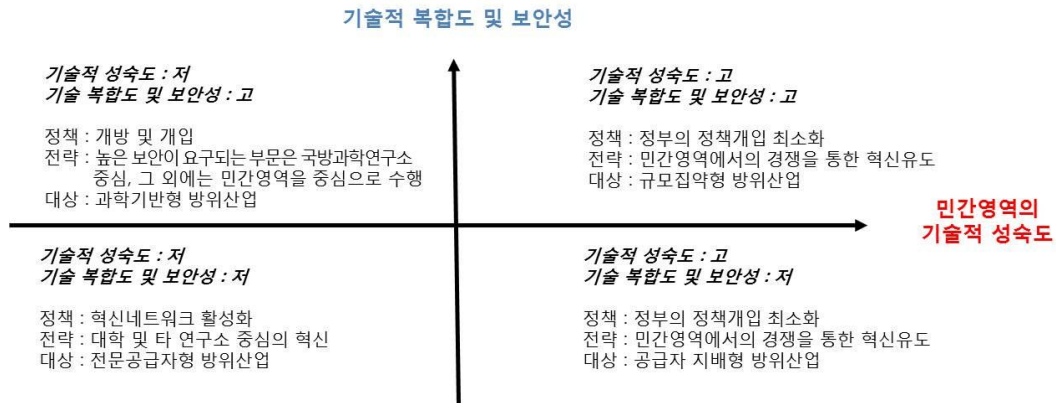
⁷ 조달과정에서 정부가 기업선정과 개발의 모든 단계를 하나의 기업에 위임하는 것이 아니라 개발자로 선정된 기업이 생산할 권리를 다시 입찰을 통해 선정할 수 있도록 하는 형태(James. J. A & Dennis A.Y., 1987)

개 되어 민간에서 재개발하거나, 군용 기술 개발 과정의 미공개로 인해 선진 민간 기술의 군내 적용이 지연되는 사태를 사전 예방하기 위해 요구되는 기술을 기술수준, 전략적 가치, 경제성 등에 따라 분류하고 이를 공개하여 R&D 투자 효과를 높이도록 해야 할 것이다. 더불어 과학기반형 방위산업의 생산품의 특성상 타 산업 분야와 연관도가 높은 분야에 대한 R&D 지원 및 민간 영역에서의 R&D 투자 유도를 통해 조기에 성과가 창출되어 타 산업으로의 기술파급 효과를 높일 수 있도록 한다면 방위산업 전체적인 발전을 견인할 수 있을 것이다.

기술적 성숙도 및 복잡도 그리고 보안성이 낮은 분야, 즉 전문공급자형 방위산업은 현재 국방과학연구소 및 중소기업에 한정되어 있는 기술개발의 참여 범위를 대학 및 연구소(국방과학연구소 제외)까지 확대 해야 하며 이들 간의 상호 네트워크의 강화를 통해 연구개발 성과가 창출될 수 있도록 해야 한다. 특히 해당분야는 민간영역과 국방영역간의 제품의 활용 측면에서 차이가 없는 민·군겸용제품으로서 활용도가 높은 분야이다. 따라서 정부의 일반 산업 발전정책과의 연계를 통한 발전전략 또한 유용할 것이다.

마지막으로 기술적 성숙도가 높고 복잡도 및 보안성이 낮은 공급자 지배형 방위산업의 경우 민간영역에서 경쟁을 통한 혁신의 유도가 요구된다. 해당 분야는 이미 민간 및 국방간의 영역의 차이가 없으며 오히려 민간영역에서의 기술개발 및 혁신이 활발하게 진행되고 있다는 점에서 민간영역을 중심으로 한 혁신활동이 이루어 질 수 있도록 제도적인 지원이 필요하다. 특히, 해당 분야는 이미 기술경쟁력이 확보되어 있는 만큼 수출지원 정책 등을 통

해 새로운 수요를 확보할 수 있도록 하여 현재 내수에만 의존하고 있는 매출구조를 다각화해야 할 것 이다.



[그림 38] 분야별 특성에 따른 방위산업 발전전략

6.3 연구의 의의 및 한계

본 연구에서는 시스템다이내믹스를 이용하여 혁신 시스템의 동태성에 대해 개념적 측면에서는 인과지도를 이용하고 정량적 측면에서는 저장-유량 흐름도를 통해 제공하였다. 이러한 시도는 그 동안 혁신시스템과 시스템다이내믹스라는 각각 다른 영역에서 수행되어 온 연구활동의 결합측면에서 의미를 가진다. 특히, 혁신시스템에 관한 시스템다이내믹스 연구는 소수의 일부 연구자들에 의해서만 수행되어 왔는데, 본 연구는 혁신시스템 중 산업혁신시스템 관점에서 시스템다이내믹스를 이용한 연구의 실마리를 제공하였다고 할 수 있다.

연구대상 측면에서도 그 동안 혁신시스템 관점에서 거의 다루어지지 않았

던 방위산업의 혁신시스템에 관해 분석하였다는 점에서 의미가 있으며 더불어 기존의 연구가 정성적 또는 통계적 기법을 이용하여 정태적 분석해 왔다면 본 연구에서는 시스템다이나믹스를 이용하여 동태적 분석을 시도하였다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있다.

본 연구가 갖는 한계 및 향후 연구방향은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 사용한 시스템다이나믹스 방법론의 특성상 연구자의 임의성이 완전히 배제되지는 않는다는 점이다. 특히, 연구자가 연구하고자 하는 분야에 대해 완벽한 지식을 가지고 있다 하더라도 전체 시스템과 상호인과관계를 모두 표현하는 데는 한계가 있으며 따라서 어느 정도의 임의성이 존재한다.

둘째, 모델에서 혁신의 결과로 인한 성과들이 다시 국방예산과 연결되는 부분이 제한적인 피드백 구조를 갖는다는 것이다. 이러한 부분은 방위산업 혁신의 수준에 따라 예산 및 구매에 관한 정치적 요구 수준 등으로 표현이 가능한데 본 연구에서는 이러한 부분을 가급적 배제하고 모델링 하였다. 따라서 혁신의 결과 및 성과가 정책의사결정에 미치는 영향부분이 미흡하다고 할 수 있다.

따라서 방위산업에 대한 보다 심층적인 분석을 통해 시스템의 구성요소들을 보강하고 이러한 구성요소들간의 인과관계를 명확히 설정하는 것이 향후 연구들을 통해 보완되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Bets, F. (1998). *Managing Technological Innovation – Competitive Advantage from Change*: John Wiley & Sons.
- Bozeman, B. & Melkers, J. (1998). *Evaluating R&D Impacts : Methods and Practice*. London : Kluwer Academic Publishers.
- Branch, B. S. (1974). Research and Development Activity and Profitability: A Distrubuted Lag Analysis. *Journal of Political Economy*, 82(5), 999–1011.
- Breschi, S. & Malerba, F. (1997), *Sectoral Systems of Innovation: Technological Regimes and Schumpeterian Dynamics and Spatial Boundaries*, C. Edquist ed., *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, London: Printer Publisher, 130–155.
- Buys, A. J. (2006). Innovative Behavior of the South African Defence Related Industries, *PICMET 2006 Proceedings*.
- Carlton, D. S & Perloff, J. M. (1990). *Modern Industrial Organization*: Harper Collins Publishers.

Castellacci, F. (2003). Why innovation differs across sectors in Europe? Evidence from the CIS–SIEPI database.

Charels river associates. (2010). *Innovation in aerospace and defense*.

Chen, J. H. & Jan, J. H. (2005). A System Dynamics Model of the Semiconductor Industry Development in Taiwan. *The Journal of the Operational Research Society*, 56(10), 1141–1150.

Chritian, S. (2008). *Convergence*: John wiley & Sons, Ltd.

Commission of the European Communities. (1996). The Challenges Facing the European Defence–Related Industry: A Contribution for Action at European Level, Brussels, Commission of the European Communities.

Coyle, R. G. (1983). The technical elements of the system dynamics. *European Journal of Operational Research*, 14, 359–370.

Damanpour, F. & Evan, W. M. (1984). Organizational Innovation and Performance: The Problem of "Organizational Lag". *Administrative Science Quarterly*, 29(3), 392–409.

DoD, (2007). *Defense Industrial Base Critical Infrastructure and Key Resources Sector-Specific Plan as input to the National Infrastructure Protection Plan*.

Edquist, C. (1997). *System of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, London: Pinter/Cassell.

Edquist, C. (2001). The System of Innovation Approach and Innovation Policy: An account of the state of art. DRUID Conference.

Eliassen, K. A. (2002). European Defence Procurement and Industrial Policy: The Case of France, Centre for European and Asian Studies at Norwegian School of Management.

Freeman, C. (1987). *Technology, policy and Economic Performance: Lessons from Japan*: Pinter Publishers.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge: The MIT Press.

Gallart, J. M. (1997). Defence Procurement as an Industrial Policy Tool: The Spanish Experience, *Defence and Peace Economics*, 9, 63–81.

- Gemunden, H. G., Heydebreck, P. & Herden, R. (1992). Technological interweavement: a means of achieving innovation success. *R&D Management*, 22, 359–376.
- Geroski, P. A. (1990). Innovation, Technological Opportunity, and Market Structure. *Oxford Economic Papers*, 42(3), 586–602.
- Gholz, E. & Sapolsky, H. M. (1999). Restructuring the U.S. Defense Industry. *International Security*, 24(3), 5–51.
- Grabowski, H. G. & Mueller, D. C. (1978). Industrial Research and Development, Intangible Capital Stock and Firm Profit Rates. *Bell Journal of Economics*, 9(2), 328–343.
- Grandstand, O. (1994). *The Economics of Technology*. Amsterdam: Elsevier.
- Griliches, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity and growth, *Bell Journal Economics*, 10(1).

- Guillou, S., Lazaric, N., Longhi, C., & Rochhia, S. (2009). The French defence industry in the knowledge management era: A historical overview and evidence from empirical data, *Research Policy* 38(1), 170–180.
- Hall, R. I. (1994). Casual policy maps of managers: formal methods for elicitation and analysis. *System Dynamics Review*, 10(4).
- Hansen, K. F. (1999). Allocating R&D Resources: A Quantitative Aid to Management Insight. *Research Technology Management*, 42, 44–50
- Hartley, K. (1995). *Procurement: Theories, Evidence, and Policies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- James, A. D. (2000). *The Place of the UK Defense Industry in its National Innovation System: Co-evolution of National, Sectoral and Technological Systems*. In *The place of the defence in National System of Innovation*, Reppy J. (ed), Cornell University Press.
- James, J. A. & Dennis, A. Y. (1987). Second Sourcing and the experience curve: price competition in defense procurement, *Rand Journal of Economics*, 18(1), 57–76.
- Kline, S. J. & Rosenberg, N. (1996). *An Overview of Innovation*. In *The Positive Sum Strategy*, eds. Landau, R. & Rosenberg, N., 275–305. Washington, National Academy Press.

- Kovacic, W. E. & Smallwood, D. E. (1994). Competition Policy, Rivalries, and Defense Industry Consolidation. *The Journal of Economic Perspectives*, 8(4), 91–110.
- Lazaric, N., Merindol, V. & Rochhia, S. (2011). Changes in the French defence innovation system, *Industry and Innovation*, 18(5), 509–530.
- Lee, T. L. & Nick, V. T. (2005). A dynamic analytic approach to national innovation systems: The IC industry in Taiwan. *Research Policy*, 34(4), 425–440.
- Leoncini, R. (1998). The nature of long-run technological change : innovation, evolution and technological system, *Research Policy*, 27, 75–93.
- Levin, R. C., Klevoric, A. K., Nelson, R. R. & Winter, S. G. (1987). Appropriating the returns from Industrial R&D. *Brookings Papers on Economic Activity*, 3, 783–831.
- Lichtenberg, F. (2001). US Government Subsidies to Private Military R&D Investment: The Defense Department s Independent R&D Policy, *The Economics of Defence* (12), 354–363.

Lopez, O. E. (1997). *A Dynamic Model for Regional Competitiveness Based on the Regional Innovation System*. Paper presented at the 15th International System Dynamics Conference: "System Approach to Learning and Education into the 21st Century".

Love, J. H. & Roper, S. (1999). The determinants of innovation: R&D, technology transfer and networking effects. *Review of Industrial Organization*, 15, 43–64.

Lundval, B. A. (2002). *Innovation, Growth and Social Cohesion: The Danish Model*. Cheltenham: Elgar.

Malerba, F. (2004). *Sectoral Systems of Innovation Concepts, issues and Analysis of six Major Sectors in Europe*. New York: Cambridge.

Malerba, F. & Orsenigo, L. (1996). Schumpeterian Patterns of innovation. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 47–65.

Malerba, F. & Orsenigo, L. (1996). Schumpeterian Patterns of Innovation are Technology-Specific. *Research Policy*, 25(3), 451–478.

- Marshall, A. (1910). *Principles of Economics*. London: Macmillan.
- Metcalf, S. (1995), *The Economic Foundations of Technology Policy: Equilibrium and Evolutionary Perspectives, Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell Publishers, Oxford (UK)/Cambridge (US).
- Michelle, V. B. (1996). *A System Dynamics Analysis of the Interaction Between The U.S Government and the Defense Aerospace Industry*. Master, MIT.
- Morecroft, J. D. W. (1999). Management Attitudes, Learning and Scale in Successful Diversification: a Dynamic and Behavioural Resource System View, *Journal of the Operational Research Society*, 50, 315–336.
- Mussington, D. (1994). *Arms Unbound: The Globalization of Defense Production (Csis Studies in International Security)*. Washington, DC: Brassey's Inc.
- Nelson, R. & Rosenberg, N. (1993). *Technical Innovation and National System: A Comparative Analysis*: Oxford University Press.

- Pakers, A & Schankerman, M. (1984). *The Rate of Obsolescence of Patents, Research Gestation Lags and The Private Rate of Return to Research Resources*, 73–88: The University of Chicago Press.
- Park, S. (2011). Co-evolution of policy and emerging technology: hydrogen policies in Iceland, the United Kingdom, and Korea, *The Korean Journal of Policy Studies*, 22, 274–282.
- Patel, P. & Pavitt, K. (1992). The Innovative Performance Of The World'S Largest Firms: Some New Evidence *Economics of Innovation and New Technology*, 2(2), 91–102.
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, 13, 343–373.
- Peter J. D., Eugene, G. & Andrew, L. R. (2002). *Selling military transformation: the defense industry and innovation*; Elsevier Science Limited on behalf of Foreign Policy Research Institute. Summer, 523–536.
- Peter, S. (1990). *The fifth discipline: The art and Practice of learning organization*. New York: Doubleday Currency.

- Philip, C. (2002). Regional Innovation Systems: General Findings and Some New Evidence from Biotechnology Clusters. *The Journal of Technology Transfer*, 27(1), 133–145.
- Richardson, G. P. (1991). *Feedback Though in Social Science and System Theory*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Rosenberg, N. (1976). *Perspectives on Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shan, W., Walker, G. and Kogut, B. (1994). Interfirm cooperation and startup innovation in the biotechnology industry. *Strategic Management Journal*, 15, 387–394.
- Scherer, F. M. (1965). Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions. *The American Economic Review*, 55(5), 1097–1125.
- Schumpeter, J. (1961). *The Theory of Economic Development*. Oxford University Press.
- SIPRI. (2006). *SIPRI Yearbook 2006, Armanment, Disarmament and International Securoty : Summary*. Oxford University Press.

- SIPRI. (2009). *SIPRI Yearbook 2009, Armanment, Disarmament and International Securoty : Summary*: Oxford University Press.
- SIPRI. (2010). *SIPRI Yearbook 2010, Armanment, Disarmament and International Securoty : Summary*: Oxford University Press.
- Stamboulis, Y., E. D. Adamides, T. Malakis. (2002). Modeling the Product–Process R&D Dynamics, *Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society*.
- Teece, D. J., Pisano, G. & Shuen, A. (1997). Dynamic Capabilities and Strategic Management, *Strategic Management Journal* , 18(7) 509–533.
- Tidd, J. B & Pavitt. K(1997). *Managing Innovation Integrating Technological Market and Organizational Change*, John Wiley & Sons.
- Utterback, J. M & Abernathy, W. J. (1975). A Dynamic Model of Product and Process. *Omega*, 3(6), 639–656.
- Vandewalle, K. (1998). R&D Activities at the Firm Level : the case of Belgium. *CESIT*.

- Vega-Jurado, J., Gutiérrez-Gracia, A., Fernández-de-Lucio, I., & Manjarrés-Henríquez, L. (2008). The effect of external and internal factors on firms' product innovation. *Research Policy*, 37(4), 616-632.
- Watts, B. D. & Harrison, T. (2011). *Sustaining Critical Sectors of the U.S. Defense Industrial Base*.
- Weick, K. E. (1979). *The Social Psychology of Organizing*. Massachusettes: Addison-Wesley Publishing Company.
- William, B. B. (1987). Improving Procurement Competition in the weapons Acquisition Process: The case of U.S War planes", *Journal of Policy Analysis and Management*, 7, 17-39.
- 八木浩史, (2002), 公的R&Dが製造業の生産性に 與える効果の計量分析, 慶應義塾大學經濟學研究科發表論文
- 곽수환, 최석봉. (2009). 국내 서비스산업의 기술혁신 결정요인 : 자원준거론 및 산업조직론 관점에서. *서비스경영학회지*, 10(2), 1-25.
- 국방과학연구소. (2010). 국방과학연구소 40년 연구개발 투자효과. 대전: 국방과학연구소.
- 국방부. (2010). *국방백서*. 서울: 국방부.

국방부. (2007). *국방과학기술 정책서*. 서울: 국방부.

국방조달본부. (2001). *국방조달 원가 실무 참고서*. 서울: 국방부.

국회예산처. (2009). *통계로 보는 재정 2009*. 서울: 국회예산정책처.

김도훈, 문태훈, 김동환. (1998). *시스템사고와 시스템다이내믹스*.

김도훈, 문태훈, 김동환. (2001). *시스템 다이내믹스*. 서울: 대영문화사.

김재욱. (2005). 국방 R&D 투자가 경제성장에 미치는 효과분석. 석사. 국방대학교.

김적교, 조병택. (1989). *연구개발과 시장구조 및 생산성*. 서울: 한국개발연구원.

김진기. (2008). 한국 방위산업의 발전전략에 대한 연구: 박정희 시대의 방위산업 발전전략을 중심으로. *국가전략*, 14(1), 95-121.

김현호. (2009). 2008년 한국 기업의 혁신활동 조사와 시사점. STEPI Insight, 30.

문종열. (2008). 방위산업 재정지출 성과와 과제: 방위산업 위기와 핵심군사력 해외의존도 심화.

- 박주현, 안변성, 강한구. (2003). 국방연구개발 투자의 경제적 효과, 국방정책연구, 62, 135-159.
- 박상욱. (2010). *개발도상국 국가혁신시스템 성숙도 측정의 효과성 분석*. 2012 한국정책학회 하계학술대회, 597-617.
- 방위사업청. (2008). *방위사업개론*. 서울: 방위사업청.
- 삐에르 뒤쏘르, 김석순 역. (2000). *프랑스 방위산업*. 서울: 21세기 군사연구소.
- 서혁, 명건식. (2007). 한국 방위산업의 시스템과 정책 레버리지. *한국 시스템다이내믹스 연구*, 8(2), 83-114.
- 성태경. (2004). 기술혁신활동의 혁신유형별 결정요인 : 우리나라 제조기업에 대한 실증연구. *경영연구*, 19(4), 199-218.
- 성태경. (2009). 표준화 활동과 기술혁신의 연관성에 관한 탐색적 연구. *대한경영학회지*, 22(2), 761-782.
- 손윤곤. (2008). *방위산업체 기술혁신 결정요인 분석*. 석사, 국방대학교.
- 송영일, 우제완. (2008). 방위산업체의 경영성과 영향요인에 대한 실증연구. *국방정책연구*, 24(2), 193-239.

송위진, (2000). 산업별 기술혁신패턴 비교 분석. 과학기술정책: 한국과학기술기획평가원.

송치웅, 오완근. (2009). 한국 제조업 기업의 기술혁신 결정요인 분석. *STEPI 기술혁신조사 Symposium 논문집*.

신태영. (2004). 연구개발투자의 경제성장에 대한 기여도, 과학기술정책연구원 정책자료.

안영수, 장원준, 김정호, 김창모, 조은정. (2011) 방위산업의 글로벌 환경 변화와 경쟁력 평가, 산업연구원 연구보고서.

윤윤규, 이재호. (2004). 지역산업육성과 지역혁신체제 구축에 관한 연구: 한국개발연구원.

윤진효, 원동규. (2004). 국가혁신체제 개편 연구: 시스템 다이내믹스 방법을 통한 종합조정체제 확립 분석. 2004년 한국행정학회 동계학술대회

이경재. (2006). 효율적인 군사력건설을 위한 소요창출 및 획득체제 개선. 서울: 대한출판사.

이상룡. (2001). 반도체 제조장비산업의 집적화 단지조성과 지역 과학기술 혁신지원 시스템의 구축에 관한 조사연구: 과학기술부.

- 이상만. (1994). *연구개발비와 광고비지출의 이익예측력에 관한 연구*. 박사, 단국대학교.
- 이성우. (2001). *국방사업관리교재*. 서울: 국방대학교.
- 이수복. (1999). 한국 기업집단의 다각화 연구개발. *산업조직연구*, 7(1), 21-44.
- 이원영. (2008). *기술혁신의 경제학*. 경기: 생능출판사.
- 이원영, 정진승. (1985). 시장구조와 기술혁신. *한국개발연구*, 7(4).
- 이정동. (2011). *공학기술과 정책*: 지호.
- 이호석, 남기현. (2011). 방위산업의 선진화: 의미와 과제. *국방정책연구*, 27(4), 7-36.
- 일반국서 간행회 병학연구회. (2002). *일본 국방용어사전*. 서울: 병학사.
- 임성준. (2010) 공정혁신과 제품혁신. *두산웹진*. 30-31
- 임치규, 이훈영. (2009). 한국의 방위산업육성 정책: 평가와 발전방향. *산업논총*, 34, 75-105.
- 정갑영. (1987). 시장구조와 기술혁신. *산업과 경영*, 24.

정석재, 송재호, 김경섭, 박진원. (2007). 시스템다이내믹스를 이용한 탄소세 부과가 철강 산업에 미치는 효과 분석. *한국 시스템다이내믹스 연구*, 8(2), 115-140.

정용현. (2005). 방위산업의 시장구조 결정요인이 기술혁신과 시장지배에 미치는 영향. 국방대학교.

조재봉. (2008). *한국 방위산업 활성화 방안*. 석사, 한남대학교.

최강화, 곽수일, 김수옥. (2006). 시스템다이나믹스를 이용한 기술혁신의 동태성 분석. *경영과학*, 23(1), 87-113.

최석철, 이만희. (2004). 방위산업체의 자체연구개발을 위한 촉진방안. *한국 방위산업학회지*, 11(2), 99-120.

한국은행. (2003). 연구개발투자의 생산성 파급효과 분석, 한국은행.

한남성, 임금순. (1998). 방위산업의 필요성과 역할에 대한 인식 재정립. *주간국방논단*, 724, 1-11.

황치복, 이상경. (2004). 연구개발 활성화를 위한 새로운 대안: 방산업체를 중심으로. *국방과 기술*, 305, 22-35.

부록 1 : 모델 관계식

- 1) 방산 R&D 투자($t-10$) = *DELAY FIXED* ("방산 R&D 투자액", 연구 개발시차, 초기값)
- 2) 방산수출액 = 시장점유율*13
- 3) 해외구매예산 중 국내로 전환 = *IF THEN ELSE*(방산물자 매력도 > 1.35, 해외구매예산*방산물자 매력도*0.7, 해외구매예산*방산물자 매력도*0.4)
- 4) 연간재래식물자추가목표량 = 연간재래식물자목표함수(*Time*)
- 5) 방산매출 = 국내재래식물자 구매예산 + 방산수출액 + 국내첨단물자 구매예산
- 6) 방위산업과의 공동개발 프로젝트 수 = ("국방R&D 예산"/133)
- 7) 방산제품혁신수준 = *INTEG* (방산제품혁신, 0)
- 8) 방산공정혁신수준 = *INTEG* (방산공정혁신, 0)
- 9) 방위산업 기술수준 = *INTEG* (0.013*"방산R&D 스톡"-방위산업기술진부화+네트워킹 수준, 4.5)
- 10) 네트워킹 수준 = 네트워킹 조절계수*방위산업과의 공동개발 프로젝트 수
- 11) 국방R&D기술수준 = *INTEG* ("국방R&D스톡", 0)
- 12) 네트워킹 조절계수 = 0 or 0.18 or 0.36
- 13) 방위산업기술진부화 = 0.05*방위산업 기술수준
- 14) 제품혁신역동성 모형 = 제품혁신함수(*Time*)

- 15) 제품혁신함수 = $([(0,0) (40,1)], (0.14,0.80), (1.26,0.84), (2.80,0.86), (4.91,0.85), (6.59,0.80), (8.28,0.75), (9.68,0.67), (11.36,0.60), (13.6,0.51), (16.42,0.42), (20.21,0.35), (23.15,0.31), (27.65,0.27), (29.75,0.24), (32.84,0.22), (38.17,0.17), (39.71,0.16))$
- 16) 가격에 따른 방산물자 매력도 = IF THEN ELSE(방산물자가격 > 80, 1, 2)
- 17) 공정혁신역동성모형 = 공정혁신함수(Time)
- 18) 공정혁신함수 = $([(0,0) - (41,0.8)], (0,0.27), (3.22,0.33), (5.19,0.36), (6.45,0.39), (8,0.44), (8.91,0.50), (9.6,0.57), (11.50,0.65), (14.96,0.67), (17.26,0.61), (18.4,0.57), (19.59,0.54), (20.71,0.49), (22.01,0.45), (24,0.41), (25.82,0.38), (28.77,0.34), (31.85,0.30), (34.67,0.26), (40.14,0.22))$
- 19) 첨단물자가격 = $(0.7 * \text{생산역량})$
- 20) 첨단물자 제품혁신 = $0.64 * \text{방산제품혁신수준}$
- 21) 수출성과 = INTEG (연도별시장점유율, 0.005)
- 22) 연도별시장점유율 = IF THEN ELSE(방산물자 매력도 > 1.35, (시장점유율 * 0.07), (시장점유율 * 0.03))
- 23) 방산제품혁신 = $(\text{DELAY3}(\text{방산제품혁신 역량}, 5 \text{ or } 2.5) * 0.51) / 100$
- 24) 방산제품혁신 역량 = (방위산업 기술수준 * 제품혁신역동성 모형)
- 25) 방산공정혁신역량 = 공정혁신역동성모형 * 방위산업 기술수준
- 26) 재래식물자가격 = $0.1 * \text{생산역량}$
- 27) 첨단물자공정혁신 = $0.64 * \text{방산공정혁신수준}$

- 28) 재래식물자 제품혁신=0.34*방산제품혁신수준
- 29) 방산공정혁신=(DELAY3(방산공정혁신역량, 5 or 2.5)*0.51)/100
- 30) 생산역량=재래식물자공정혁신+첨단물자공정혁신
- 31) 재래식물자공정혁신=0.34*방산공정혁신수준
- 32) 방산물자가격=INTEG (IF THEN ELSE(방산물자가격>70, -(재래식물자가격+첨단물자가격) , 0),100)
- 33) 방산물자 매력도=재래식물자 제품혁신+첨단물자 제품혁신+가격에 따른
방산물자 매력도
- 34) 방산 R&D 투자액="방산R&D 투자율"*방산매출
- 35) 방산R&D 스톡="방산R&D 스톡(t)*(1-진부화)+"방산R&D 투자(t-10)"
- 36) 방산R&D 스톡(t)="방산 R&D 투자액"*((1+평균연구개발스톡
증가율)/(평균연구개발스톡증가율+진부화))
- 37) 방산R&D 투자율=0.07+(0.48*방산매출 증가율)+(시장경쟁조절계수
*0.3)+("정부R&D보조금계수"*0.44)
- 38) i 국방비=14.48
- 39) 방위력개선비=국방비*국방비중 방위력개선비 비중
- 40) 방위력개선비를 제외한 국방예산=국방비*(1-국방비중 방위력개선비 비중)
- R&D조절계수=0.165
- 41) 연구개발시차=8 or 10
- 42) 연간재래식물자목표수준= INTEG (+연간재래식물자추가목표량, 0)
- 43) 연간재래식물자실제수준= INTEG (+연간재래식물자달성량, 0)

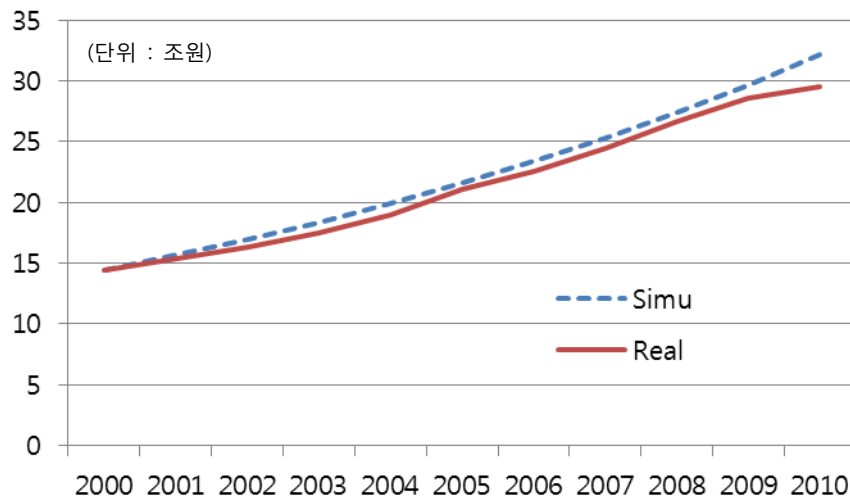
- 44) 연간재래식물자목표함수 $[(1,0)-(40,1)], (1.27368,0.00877193), (2.50526,0.0438596), (3.46316,0.118421), (5.51579,0.219298), (8.38947,0.311404), (10.4421,0.416667), (14.4105,0.54386), (17.5579,0.644737), (19.4737,0.723684), (21.6632,0.802632), (25.3579,0.855263), (27.8211,0.881579), (30.9684,0.912281), (34.2526,0.951754), (40,0.995614))$
- 45) 국내구매예산=방위력개선비*평균국내구매 비율
- 46) 국내재래식구매를 통한 전력=국내재래식무기구매효과지수*국내재래식 무기구매효과지수
- 47) 국내재래식물자 구매예산=국내구매예산
- 48) 국내재래식무기구매효과지수=0.1*국내재래식물자 구매예산
- 49) 국내첨단물자 구매예산=IF THEN ELSE(해외구매예산 중 국내로 전환>0, 해외구매예산 중 국내로 전환, 0)
- 50) 국내첨단물자개발에 따른 해외구매예산=IF THEN ELSE(해외구매 예산-국내첨단물자 구매예산>0, 해외구매예산-국내첨단물자 구매 예산, 0)
- 51) 국내첨단무기구매를 통한 전력=국내첨단물자 구매예산*첨단무기효과지수
- 52) 국방R&D 스톡(t)="국방R&D 예산"*((1+"평균 국방R&D 스톡 증가율")/ ("평균 국방R&D 스톡 증가율"+"국방R&D 진부화"))
- 53) 국방R&D 예산=방위력개선비*"평균국방R&D비율"
- 54) 국방R&D 진부화= 0.2
- 55) 국방R&D스톡="국방R&D 스톡(t)"*(1-"국방R&D 진부화")+ "국방R&D투자(t-1)"
- 56) 국방R&D연구개발시차=10
- 57) 국방R&D초기값=0

- 58) 국방R&D투자($t-1$) = *DELAY FIXED* ("국방R&D 예산", "국방R&D연구
개발시차", "국방R&D초기값")
- 59) 국방비 = *INTEG* (국방비 증가액, i 국방비)
- 60) 국방비 증가액 = 국방비 * 국방비 증가율
- 61) 국방비 증가율 = 0.083
- 62) 국방비중 방위력개선비 비중 = 0.32 or 0.35
- 63) 재래식물자도태율 = 0.2
- 64) 주변국 첨단화수준 = 0.03
- 65) 방산매출 증가율 = ((방산매출 - "방산매출 $t-1$ ") / "방산매출 $t-1$ ")
- 66) 방산매출 $t-1$ = *DELAY FIXED* (방산매출, 1, 2.6)
- 67) 진부화 = 0.2 or 0.1
- 68) 연간첨단물자목표수준 = *INTEG* (연간첨단물자추가목표량, 0)
- 69) 첨단물자요구량 = 연간첨단물자추가목표량 - 연간첨단물자달성량
- 70) 연간첨단물자실제수준 = *INTEG* (연간첨단물자달성량, 0)
- 71) 연간첨단물자달성량 = 연간첨단물자추가목표량 - (연간첨단물자추가목표량
주변국 첨단화수준)
- 72) 연간첨단물자추가목표량 = 연간첨단물자목표함수($Time$)
- 73) 연간첨단물자목표함수([(1,0) - (40,1)], (1.27368, 0.0438596),
(5.37895, 0.109649), (9.21053, 0.149123), (12.9053, 0.197368),
(16.8737, 0.236842), (19.8842, 0.377193), (22.8947, 0.491228),
(23.9895, 0.508772), (29.1895, 0.692982), (35.3474, 0.903509),
(36.9895, 0.942982), (37.9474, 0.960526), (39.8632, 0.991228))
- 74) 초기값 = 0

- 75) 시장경쟁조절계수 = 0 or 0.18
- 76) 평균국내구매 비율 = $0.5 + \text{재래식 물자 요구전력} + \text{평균국내구매비율 조절계수}$
- 77) 평균국방R&D비율 = DELAY FIXED ("R&D조절계수", 7, 0.135)
- 78) 평균연구개발스톡증가율 = 0.114
- 79) 평균해외구매비율 = $0.25 + \text{첨단물자요구량}$
- 80) 해외구매를 통한 전력 = $\text{해외구매예산} * \text{첨단무기효과지수}$
- 81) 해외구매예산 = $(\text{방위력개선비} * \text{평균해외구매비율})$
- 82) 연간재래식물자달성량 = $\text{연간재래식물자추가목표량} - (\text{연간재래식물자추가목표량} * \text{재래식물자도태율})$
- 83) 재래식 물자 요구전력 = $\text{연간재래식물자추가목표량} - \text{연간재래식물자달성량}$
- 84) 평균 국방R&D 스톡 증가율 = 0.114

부록 2 : 모델검증 결과

1) 국방비에 대한 시뮬레이션값과 실제값의 행태 비교

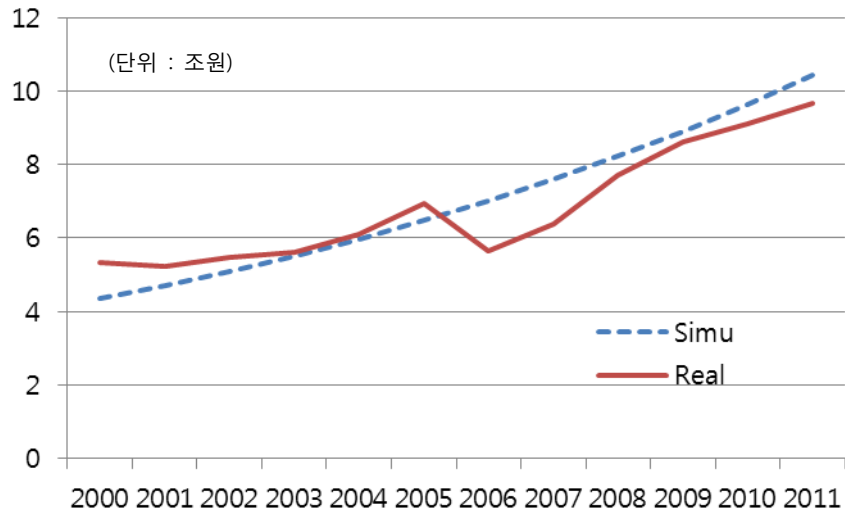


2) 국방비에 대한 시뮬레이션값과 실제값 비교

(단위: 조원)

연도	시뮬레이션	실제
2000	14.48	14.48
2001	15.68	15.39
2002	16.98	16.36
2003	18.39	17.51
2004	19.92	18.94
2005	21.57	21.10
2006	23.36	22.51
2007	25.3	24.50
2008	27.4	26.65
2009	29.68	28.53
2010	32.14	29.56

3) 방위력개선비에 대한 시뮬레이션값과 실제값의 행태 비교

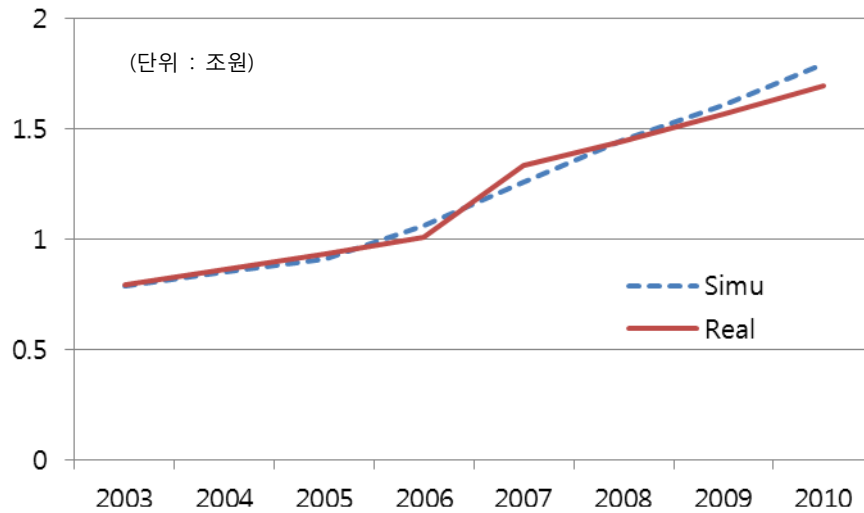


4) 방위력개선비에 대한 시뮬레이션값과 실제값 비교

(단위: 조원)

연도	시뮬레이션	실제
2001	4.63	5.34
2002	5.02	5.21
2003	5.44	5.48
2004	5.89	5.63
2005	6.37	6.10
2006	6.90	6.93
2007	7.48	6.30
2008	8.10	7.70
2009	8.77	8.60
2010	9.50	9.10
2011	10.28	9.66

5) 국방 R&D 예산에 대한 시뮬레이션값과 실제값의 행태 비교

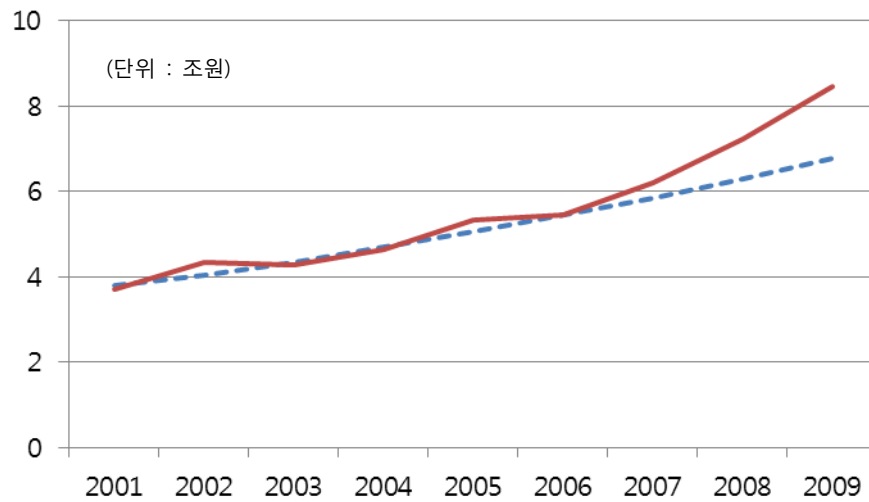


6) 국방 R&D 예산에 대한 시뮬레이션값과 실제값 비교

(단위: 조원)

연도	시뮬레이션	실제
2003	0.79	0.79
2004	0.86	0.85
2005	0.93	0.91
2007	1.01	1.06
2007	1.34	1.26
2008	1.45	1.45
2009	1.57	1.61
2010	1.70	1.79

7) 방산매출에 대한 시뮬레이션값과 실제값의 행태 비교

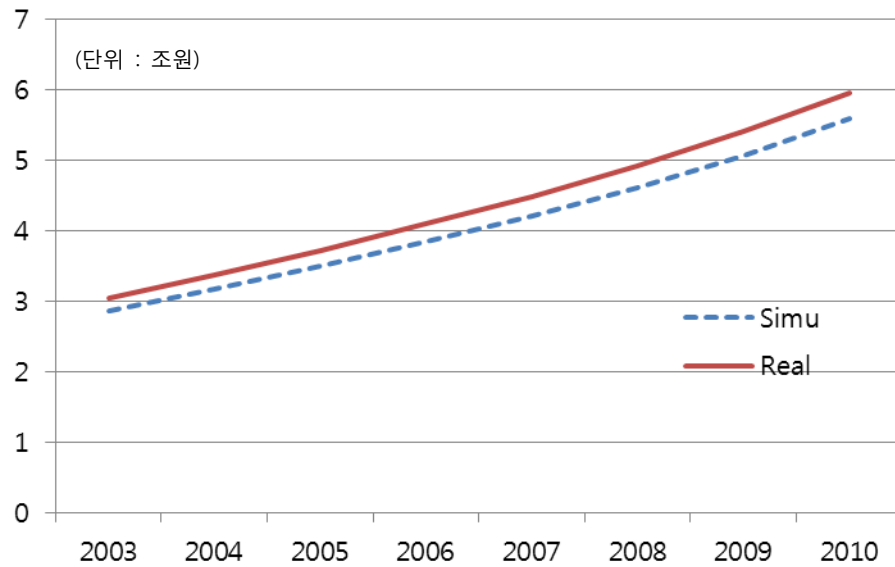


8) 방산매출에 대한 시뮬레이션값과 실제값 비교

(단위: 조원)

연도	시뮬레이션	실제
2001	3.79	3.70
2002	4.04	4.34
2003	4.35	4.27
2004	4.69	4.64
2005	5.06	5.32
2007	5.44	5.45
2007	5.84	6.20
2008	6.28	7.24
2010	6.78	8.47

9) 국내구매 예산에 대한 시뮬레이션값과 실제값의 행태 비교



10) 국내구매 예산에 대한 시뮬레이션값과 실제값 (단위: 조원)

연도	시뮬레이션	실제
2003	2.85	3.04
2004	3.16	3.37
2005	3.49	3.72
2006	3.83	4.09
2007	4.20	4.48
2008	4.60	4.91
2009	5.06	5.40
2010	5.58	5.95

Abstract

Technological innovation is an important factor leading the survival of firm and industry as well as playing a main function for the national economic growth. the importance of technological innovation is not exceptional in defense industry.

According to the theory of sectoral innovation system which states that characteristics of technological innovation is different in each industry. Research were pursued in order to distinguish the innovation character of every industry but identification of innovation system character were followed within the limit due to the reason that there are dubious in taxonomy and the existence of various subordinate field within industry.

Defense industry plays an important role in both national security and economy. In particular, it produces not only high value but also accomplish the economic achievement in a long period if export were made. As a high-tech industry, it has the property of pulling the technological development. Government has designated the defense industry as a driving force new economic growth of future country and it is carrying out the variety policy for the development of defense industry.

But there are major problem surrounding in the enforcement of these policies due to an insufficiency clarification what kind of innovation system characteristics are possessed and how they worked by the defense industry. Therefore, understanding the characteristics of defense industry innovation character must be decided beforehand in order to achieve an effective policy and efficient goal.

Current research has used the system dynamics. Analyzed and perform simulation at the feedback structure on the relationships of each innovation composition factor related to the defense industry.

Above all, subordinate field were classified according to the industrial peculiarity tithing the defense industry and analysed the dynamics character based on a viewpoint of sectoral innovation system.

Through a result of current research, it is possible to understand the dynamics character of each different industrial area within the defense industry. Also at the unified viewpoint, it had a clear grasp of current defense industry policy by a close examination of dynamics character of defense industry innovation system and presented the policy direction base on each industrial character.

Keywords: system dynamics, defense industry, innovation system,
sectoral innovation system, innovation pattern

Student Number: 2009–30752